Untersuchungen über die Intensität der Sonnenflecke

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Ludwigs-Maximilians-Universität München

eingereicht am 23. Juni 1939

von

Jakob Korn

aus

Zweibrücken

BERLIN-DAHLEM 1940
VERLAG DER ASTRONOMISCHEN NACHRICHTEN

1. Berichterstatter: Professor Dr. W. Rabe

2. Dozent Dr. B. Thüring

Tag der mündlichen Prüfung: 17. Juli 1939

Untersuchungen über die Intensität der Sonnenflecke

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Ludwigs-Maximilians-Universität München

eingereicht am 23. Juni 1939

von

Jakob Korn

aus

Zweibrücken

BERLIN-DAHLEM 1940
VERLAG DER ASTRONOMISCHEN NACHRICHTEN

R. UNIV:
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen lieben Eltern

Untersuchungen über die Intensität der Sonnenflecke*)

Von J. Korn, München

Eingegangen 1939 Dezember 11

Ausgehend von dem Widerspruch zwischen einer adiabatisch-konvektiven Auffassung des Fleckvorganges und den nach der Theorie des Strahlungsgleichgewichtes zu deutenden neueren Untersuchungen werden die für die letztere Anschauung maßgebenden, mit der Fleckintensität zusammenhängenden Fragen untersucht. Zur Verfügung steht ein am Münchener Schmidtschen 30 cm-Spiegel im Gesamtlicht, sowie mit Blau- und UV-Filter, erhaltenes Material von 39 Aufnahmen mit insgesamt 186 Fleckintensitäten. Die Durchmessung ganzer Fleckprofile am Hartmannschen Mikrophotometer liefert die Möglichkeit, auch die Penumbra in die Untersuchung einzubeziehen.

Zur Beseitigung des Einflusses von Streulicht wird anschließend an Untersuchungen von Minnaert und Wanders ein Näherungsverfahren ausgearbeitet. Die Zusammenstellung der Intensitäten zeigt näherungsweise die Form Gaußscher Fehlerkurven. Auch bei Berücksichtigung der Beobachtungs- und Meßfehler bleibt eine natürliche Streuung bestehen, deren Größe den aus irgendeinem Material gewonnenen Mittelwert der Fleckintensität als physikalisch bedeutungslos erscheinen läßt.

Die Frage des Mitte-Rand-Effektes der Fleckintensität kann durch Berücksichtigung der durch die Beobachtungsfehler sowie die natürliche Streuung bedingten Gesamtstreuung des Materials sicher beurteilt werden. Außerdem ergeben sich gewisse Resultate über die wahre Intensität, auch in verschiedenen Spektralgebieten.

Sprechen die Resultate der Arbeit, soweit zwingende Schlüsse gezogen werden können, durchaus für Strahlungsgleichgewicht in den optisch zugänglichen Teilen der Flecke, so erscheint anderseits das Intensitäts- und damit auch das Temperaturproblem der Sonnenflecke als ein statistisches, woraus sich entsprechende Gesichtspunkte für die Theorie ergeben dürften.

1. Allgemeines

Seit den entscheidenden Untersuchungen von M. Minnaert und A. J. M. Wanders[1]) befindet sich das Problem der Sonnenflecke in einer eigentümlichen Situation. Denn während zum Verständnis der physikalischen Ursache des Fleckphänomens die Vorstellung adiabatisch-konvektiver Vorgänge, wie sie von H. N. Russell[2]) und später von R. M. Petrie[3]) und E. A. Milne[4]) ausgearbeitet worden ist, offenbar schwer entbehrt werden kann, zeigten ja Minnaert und Wanders, daß sowohl die Beobachtungen der spektralen Abhängigkeit des Intensitätsverhältnisses Fleck : Photosphäre, wie auch die offenbare Unabhängigkeit dieses Verhältnisses vom scheinbaren Fleckort auf der Sonnenscheibe befriedigend nur durch die Annahme zu erklären sind, daß sich die optisch zugänglichen Teile der Sonnenflecke im Strahlungsgleichgewicht befinden. H. Siedentopf[5]) und T. G. Cowling[6]) konnten überdies durch eine im Anschluß an den beobachteten Evershed-Effekt durchgeführte Abschätzung des Energietransports durch Strahlung und Konvektion zeigen, daß ersterer im Fleck vorwiegt. Daher entfällt auch ein früherer Versuch von A. Unsöld[7]), den Fleckvorgang im Anschluß an die von ihm nachgewiesene Konvektionszone verständlich zu machen. Der eigentlich fleckerzeugende Vorgang ist also offenbar der unmittelbaren Beobachtung nicht zugänglich.

Das für diese schwerwiegende Schlußfolgerung maßgebende Beobachtungskriterium ist, wie gesagt, das Verhalten der auf die Photosphäre bezogenen Fleckintensität. Um nun die damit verbundenen Fragen klar überblicken zu können, ist es angebracht, folgende Punkte zu unterscheiden:

a) die Ermittlung der wahren (mittleren) Fleckintensität in Einheiten der Photosphärenintensität,
b) die spektrale Änderung der Fleckintensität,
c) die Streuung der Fleckintensität,
d) die Änderung der Fleckintensität mit wachsendem Abstand von der Scheibenmitte (Mitte-Rand-Effekt).

---

*) D 19.
1) Zur Theorie der Sonnenflecke. Z. Astrophys. **5**.297 (1932).
2) Note on cooling by expansion in sunspots. Astrophys. J. **54**.293 (1921).
3) On the calculation of the relative temperatures and pressures existing at the base of sunspots. Monthly Not. **90**.480 (1930).
4) Prelim. note on the structure of sunspots. Monthly Not. **90**.487 (1930).
5) Konvektion in Sternatmosphären I, II, III. Astron. Nachr. **247**.297 (1933); **249**.53 (1933); **255**.157 (1935).
6) The structure of sunspots. Monthly Not. **96**.15 (1935).
7) Konvektion in der Sonnenatmosphäre I, II. Z. Astrophys. **1**.138 (1930); **2**.209 (1931).

Sieht man von den ältesten Beobachtungen ab, so ist die gesamte Fleckintensität direkt von W. E. Wilson[1]), E. Pettit und S. B. Nichelson[2]) und T. W. Wormell[3]) mit dem Radiometer bzw. Thermoelement gemessen worden. Photographische Bestimmungen haben K. Schwarzschild und W. Villiger[4]), N. Barabascheff und B. Semejkin[5]), R. S. Richardson[6]), sowie A. J. M. Wanders[7]) ausgeführt. Da diese Messungen im allgemeinen durch die in Abschnitt **3** näher zu erörternden Streuwirkungen der Erdatmosphäre verfälscht sind, geben sie, abgesehen von sonstigen Unsicherheiten, keineswegs das wahre Intensitätsverhältnis Fleck : Photosphäre. Nur die Werte von Pettit und Nichelson sowie von Richardson scheinen von diesem Einfluß weitgehend frei zu sein, während Wanders und Wormell ihn durch Anbringung einer Korrektion zu beseitigen versucht haben. Obwohl dabei einem mittleren Wert der Fleckintensität (diese ist, ohne daß es im folgenden ausdrücklich gesagt wird, immer in Einheiten der benachbarten Photosphärenintensität gemeint) von etwa 0.20 bei Richardson und Wanders, der sich auf einen engeren Spektralbereich bezieht, ein viel höherer von rund 0.42 bei Pettit, Nichelson und Wormell für die Gesamtstrahlung gegenübersteht, führen doch beide Intensitäten zu nahe der gleichen effektiven Flecktemperatur von etwa 4500°.

Als recht gesichert darf die Wellenlängenabhängigkeit der Fleckintensität gelten, wie sie in guter Übereinstimmung aus den Messungen C. G. Abbots[8]) mit dem Bolometer sowie denjenigen von Pettit und Nichelson[2]) mit dem Thermoelement folgt. Auch die Werte von Richardson[6]) sind, abgesehen von einem konstanten Faktor, in leidlicher Übereinstimmung damit.

Während eigentlich alle Beobachter erhebliche Differenzen zwischen den verschiedenen von ihnen bestimmten Fleckintensitäten erhielten, welche auch die Fehler ihrer Methode wesentlich überschreiten, scheint man dieser wirklichen, natürlichen Streuung der Fleckintensität bisher keine Beachtung geschenkt zu haben. Daß der gleich zu besprechende Mitte-Rand-Effekt nicht die alleinige Ursache ist, zeigen die zwischen 0.27 und 0.77 streuenden Werte Wormells. Nun haben allerdings Richardson und Wanders eine Abhängigkeit der Fleckintensität von der wahren Fleckgröße gefunden, wonach größere Flecke eine geringere Intensität haben. Aber auch dieser Effekt erklärt keineswegs die gesamte Streuung der Intensitäten. Es erscheint jedenfalls die Annahme unhaltbar, daß die Fleckintensität nahezu eine Konstante ist, wie dies A. Unsöld[9]) einmal zum Ausgangspunkt einer Erörterung machte.

Wir werden uns mit der Streuung der Fleckintensität ausführlicher in Abschnitt **4** auseinandersetzen, stellen aber hier bereits den natürlich statistischen Charakter des Intensitätsproblems der Sonnenflecke fest. Seine Bedeutung ergibt sich unmittelbar bei der Betrachtung des Mitte-Rand-Effektes. Bei einer geringen Zahl von Beobachtungen kann nämlich, was bisher anscheinend nicht bemerkt wurde, eine Aussage über einen Randeffekt, der die wahre Streuung der Fleckintensität wesentlich unterschreitet, nicht gemacht werden, auch wenn die Beobachtungsfehler beliebig klein sind.

Während nun die Messungen von Wilson, Schwarzschild und Villiger sowie Barabascheff und Semejkin einen Anstieg der Fleckintensität zum Sonnenrand hin zeigten, folgt aus den Werten von Richardson und Wanders die praktische Unabhängigkeit vom Ort auf der Scheibe. Bei der schon erwähnten Bedeutung dieses Ergebnisses für die Theorie ist seine Prüfung an weiterem Beobachtungsmaterial natürlich sehr erwünscht.

Stellt man nun Untersuchungen der Fleckintensität in irgendeiner Richtung an, dann wird man tunlichst wahre Intensitäten zu erhalten versuchen. Dies erfordert die Bestimmung von drei Größen:

die an einer definierten Stelle gemessene Intensität im Fleck,
die Intensität der Photosphäre an der Fleckstelle,
die Verfälschung der wahren Intensitäten durch Erdatmosphäre und Beobachtungs- und Meßverfahren.

Meist haben die Beobachter nur die Zentralintensität der Umbra gemessen, zum Teil aber auch ganze Fleckprofile, woraus dann insbesondere Penumbraintensitäten folgten. Solche hat vor allem Richardson[6]) zusammengestellt. Doch fehlt bisher eine ausgedehnte Untersuchung des Mitte-Rand-Effektes der Penumbra.

---

[1]) The thermal radiation from sunspots. Monthly Not. **55**.457 (1895).
[2]) Spectral energy-curve of sun-spots. Astrophys. J. **71**.153 (1930).
[3]) Observations on the intensity of the total radiation from sunspots and faculae. Monthly Not. **96**.736 (1936).
[4]) Note on the ultraviolet radiation of sun-spots and faculae. Astrophys. J. **23**.345 (1906).
[5]) Über die Helligkeitsverteilung in den Sonnenflecken und ihre Temperatur. Z. Astrophys. **5**.54 (1932).
[6]) A photometric study of sun-spots and faculae. Astrophys. J. **78**.359 (1933) and Publ. Astron. Soc. Pacific **45**.195 [(1933).
[7]) Die Änderung der Sonnenfleckenintensität über der Scheibe. Z. Astrophys. **10**.15 (1935)
[8]) Ann. Astrophys. Obs. Smithsonian Inst. **2**.233 (1908).
[9]) Konvektion in der Sonnenatmosphäre II. Z. Astrophys. **2**.209 (1931)

Die Photosphärenintensität wird allgemein aus der unmittelbaren Umgebung des Fleckes ermittelt. Demgegenüber hat H. Strebel[1]) auf die systematische Verfälschung der Fleckumgebung durch Fackeln hingewiesen, wodurch das Intensitätsverhältnis Fleck : Photosphäre verändert würde. Diesem Effekt könnte für die Mitte-Rand-Variation Bedeutung zukommen, da nach Richardson[2]) und Wormell[3]) die auf Photosphäre bezogene Fackelintensität einen Mitte-Rand-Effekt zeigt.

Die Verfälschung der Fleckintensität durch die vereinte Streuwirkung in Erdatmosphäre und Instrumentarium hat nach einem Gedanken von Pettit und Nichelson[4]) A. J. M. Wanders[5]) eingehend untersucht. Das Verfahren der Ermittlung der Einstrahlungskorrektion ist von ihm und, in nur wenig modifizierter Form, von Wormell[3]) angewandt worden.

Barabascheff und Semejkin[6]) haben schließlich versucht, die photographischen Effekte in Rechnung zu stellen.

Demnach ergab sich als Ziel der vorliegenden Arbeit, an einem verhältnismäßig großen Beobachtungsmaterial photographisch den Mitte-Rand-Effekt erneut zu untersuchen unter Einbeziehung der Penumbra. Durch Verwendung von Filtern erstreckt sich die Prüfung auf drei distinkte Spektralbereiche, womit die Möglichkeit gegeben ist, eine eventuelle Wellenlängenabhängigkeit des Mitte-Rand-Effektes zu untersuchen. Dabei werden sich auch Aussagen über die wahre Fleckintensität, ihre spektrale Abhängigkeit und ihre Streuung ergeben. Schließlich soll der Einfluß der Fackeln auf die Bestimmung der Fleckintensität untersucht werden.

2. Das Beobachtungsmaterial

a) Die Aufnahmen wurden alle am Schmidtschen Horizontalspiegel der Dr. H. Strebel-Stiftung von 9.4 m Brennweite und 30 cm Öffnung gemacht, letztere wurde immer durch eine Blende auf 20 cm verringert. Es zeigte sich, daß es für die Güte der Aufnahmen vorteilhaft war, den Fangspiegel zunächst durch ein Segel bedeckt zu lassen und ihn erst kurz vor der Aufnahme freizugeben. Der Durchmesser des Sonnenbildes ist durchschnittlich 86 mm.

Ein Teil der Aufnahmen wurde im Jahre 1936 auf dem Gelände der Dr. Strebel-Stiftung in Herrsching gemacht, ein anderer 1938 in München. Während das durch Herrn O. Koebke erhaltene Herrschinger Material meist mittelmäßige Aufnahmen enthält, die eben im Hinblick auf die Prüfung der Streueinflüsse der Atmosphäre auf die Fleckintensität aufgenommen wurden, können die vom Verfasser erhaltenen Münchener Platten als wesentlich besser bezeichnet werden, da in München nur bei guter Luft Aufnahmen gemacht wurden.

Die Exposition erfolgte in Herrsching durch fallenden Schlitzverschluß, ein Verfahren, das unter Umständen bedenklich sein kann. In München stand ein in der Werkstatt der Sternwarte gebauter Verschluß zur Verfügung, bei dem durch Federkraft waagerecht ein Spalt vor der Platte vorbeigeschnellt wird. Die Belichtungszeit konnte durch Verwendung verschiedener Spalte variiert werden, in München außerdem durch Auswechseln der Feder. Die Fokussierung erfolgte kurz vor der Aufnahme durch Betrachtung des Sonnenbildes auf einem Schirm, der zunächst die Stelle der Platte vertrat. Nach Scharfeinstellung, unter Umständen mit Hilfe einer Lupe, wurde die Kamera schnell um die empirisch bestimmte Strecke in Richtung der optischen Achse verschoben, um welche der Fokussierungsschirm vor der Platte liegt. Dann wurde durch Lösen der Arretierung der den Spalt tragende Schirm vor der Platte vorbeigeführt, womit die Belichtung vollzogen war. Dabei war ein schmaler Rand der Platte zunächst durch einen Schieber abgedeckt. Nach Einschieben des Kassettendeckels und Entfernung des Schiebers war der Teil der Platte frei, vor dem, im Ausschnitt einer Metallzunge angebracht, die zur photometrischen Eichung der Platte dienende photographische Keilkopie lag. Durch Verschiebung des Aufnahmerahmens wurde die Keilstelle möglichst auf die Mitte des Sonnenbildes gesetzt und erneut belichtet.

Verwendet wurde, außer in einem Falle, wo die Agfa-Platte »Diapositiv normal« benutzt wurde, immer die nicht mehr im Handel befindliche Plattensorte »Agfa Diapositiv rötel«. Die Platten wurden 4 bis 5 Minuten in Rodinal-Entwickler in der Verdünnung 1 : 20 entwickelt und in saurem Fixierbad gehörig ausfixiert.

---

[1]) Zusammenhänge zwischen Sonnenfackeln und Sonnenflecken. Astron. Nachr. **249**.325 (1933).
[2]) loc. cit. Fußnote 6, S. 106.
[3]) loc. cit. Fußnote 3, S. 106.
[4]) loc. cit. Fußnote 2, S. 106.
[5]) Die Reduktion für Einstrahlung bei Intensitätsmessungen an Sonnenflecken. Z. Astrophys. **8**.108 (1934).
[6]) loc. cit. Fußnote 5, S. 106.

In Herrsching wurde in der Regel in den frühen Morgenstunden beobachtet, in München konnten die Aufnahmen wegen der Anlage der Gebäude erst etwas später erfolgen. Hier erwiesen sich Aufnahmen um die Mittagszeit ebenfalls als gut. Ein Teil der Aufnahmen erfolgte ohne Filter, außerdem wurden ein UV-Filter Hanau sowie ein Schottsches Blaufilter mit der Katalogbezeichnung BG_{12} verwendet. Die Dicke der Filter beträgt 2 mm und 2.5 mm. Da genaue Angaben über die spektrale Empfindlichkeit der verwendeten Plattensorte nicht vorliegen, können die effektiven Wellenlängen der drei verwendeten Spektralbereiche (siehe nebenstehende Tabelle) nur näherungsweise angegeben werden.

Filter	λ eff
leer	460 mμ
blau	440 mμ
UV	380 mμ

Während der Aufnahme saß das Filter unmittelbar vor der photographischen Platte. Da die Absorption durch die Filter natürlich sehr merklich ist, wurden wechselweise Spalte von 1 mm bis 8 mm Breite verwendet.

In der folgenden Tab. 1 sind die benutzten Platten aufgeführt.

Tabelle 1
Die Aufnahmen

Lfd. Nr.	Platte	Datum	Filter	N	Lfd. Nr.	Platte	Datum	Filter	N	Lfd. Nr.	Platte	Datum	Filter	N
1	3601	1936 Mai 25	UV	13	14	3628	1936 Jun 17	blau	6	27	3853	1938 Okt 13	UV	8
2	3605	26	UV	14	15	3632	19	blau	7	28	3859	14	UV	7
3	3607	26	leer	14	16	3633	19	leer	7	29	3860	14	blau	7
4	3608	26	blau	14	17	3635	19	UV	7	30	3861	15	blau	6
5	3609	27	UV	8	18	3636	20	UV	11	31	3862	17	UV	5
6	3611	27	leer	8	19	3641	21	blau	11	32	3870	21	leer	4
7	3612	27	blau	8	20	3643	21	UV	11	33	3872	21	UV	4
8	3613	28	UV	6	21	3644	21	leer	11	34	3873	21	blau	4
9	3615	28	leer	6	22	3645	22	UV	11	35	3881	24	UV	7
10	3616	28	blau	6	23	3646	22	blau	11	36	3883	Nov 11	leer	12
11	3617	Jun 2	UV	12	24	3647	22	leer	11	37	3884	11	blau	12
12	3620	2	blau	12	25	3842	1938 Jul 28	UV	13	38	3887	14	UV	18
13	3621	2	UV	12	26	3849	Okt 12	UV	8	39	3888	14	leer	18

Neben Plattennummer, Datum und Filter ist unter »N« die Zahl der auf der jeweiligen Aufnahme photometrierten Flecke angegeben. Die Platte 3621, welche der Aufnahme 3617 genau entspricht, wurde bei der späteren Zusammenstellung ausgeschieden und als Vergleichsplatte zur Ermittlung des Fehlers der Messung benutzt.

b) Die photometrische Eichung der Platten geschah, wie schon erwähnt, durch Aufnahme einer photographischen Keilkopie. Diese wurde folgendermaßen erhalten: Ein mit dem Hartmannschen Mikrophotometer der Sternwarte gelieferter photographischer Keil von der Länge 60mm und den Breite 7 mm war schon früher zur Verkleinerung erneut photographiert worden. Von den so erhaltener Aufnahmen, auf denen die Größe des Keils etwa 5 mm × 1.5 mm ist, wurden Kopien hergestellt, die in der schon beschriebenen Weise an der Aufnahmevorrichtung angebracht wurden. Der in Herrsching verwendete derartige Photometerkeil stellte eine Kontaktkopie auf unempfindlichen Film dar, wodurch es möglich war, den Intensitätsabfall auf eine längere Strecke auseinanderzuziehen. Anderseits läuft man, wie dies die Reduktion der Aufnahmen auch zeigte, dabei Gefahr, durch den starken Schleier, dessen völlige Beseitigung auch durch Bromkalizusatz bei der Entwicklung nicht gelang, bei der Schwärzungskurve die stärkeren Intensitäten nicht zu erfassen. In München wurde daher eine Kontaktkopie auf eine Platte »Agfa Diapositiv rötel« hergestellt, die praktisch schleierfrei ist, wobei sich der Intensitätsabfall allerdings auf einer kürzeren Strecke vollzieht. Doch scheint die dadurch etwas vergrößerte Unsicherheit der Schwärzungskurven völlig unmerklich.

Die Untersuchung der Keilkopien erfolgte mit Hilfe eines einfachen Sensitometers, das früher nach Angaben B. Thürings in der Werkstatt der Sternwarte gebaut worden war. Es trägt am Ende einer optischen Bank den Plattenhalter, der eine meßbare seitliche Verschiebung der Platte gestattet. Auf der mit Maßstab versehenen 1 m langen optischen Bank sitzt verschiebbar die elektrische Lampe. Plattenhalter und Lampe sind so abgedeckt, daß nur ein schmales Lichtbündel von der Lampe die Platte erreicht und kreisförmige Schwärzungsmarken von etwa 3.5 mm Durchmesser erzeugt. Die bei den Aufnahmen verwendete und zu untersuchende Keilkopie wurde nun durch Belichtung mit der Sensitometerlampe auf eine Platte kopiert und dann mit gleicher Belichtungszeit auf die gleiche Platte die Skala der Schwärzungsmarken am Sensitometer aufgenommen. Die Lampenabstände am letzteren wurden dabei so gewählt, daß 10 Schwärzungsmarken mit der konstanten Größenklassendifferenz 0^m4 erhalten wurden.

Die Einhaltung gleicher Belichtungszeit empfiehlt sich wegen der Unsicherheit des Schwärzungsgesetzes und wird auch durch die Schwarzschildsche Form nahegelegt, wonach wegen des Exponenten der Belichtungszeit ein Schluß von der bekannten Intensität auf eine unbekannte, welche die gleiche Schwärzung erzeugt, nur bei gleichbleibender Exposition gestattet ist.

Nicht einwandfrei ist der nicht monochromatische Charakter der Lichtquelle, doch darf man annehmen, daß sich der Keil der Lampe gegenüber ähnlich verhält wie dem Sonnenlicht, da nach B. Thürings[1]) Photometrie hellerer Sterne die aus den Sensitometermessungen gewonnene Skala genügend mit der aus Sternen gewonnenen übereinstimmt.

Nachdem durch die Schwärzungsmarken die Schwärzungskurve der Untersuchungsplatte graphisch festgelegt werden konnte, war es leicht möglich, jeder beliebigen Stelle des aufkopierten Keils eine bestimmte Größenklasse zuzuordnen. Die entsprechenden Messungen wurden am Hartmannschen Mikrophotometer ausgeführt, wobei die Schwärzung jeder Sensitometermarke durch drei Messungen bestimmt wurde, während die Keilkopie in Abständen von 0.1 mm im Hin- und Rückgang durchphotometriert wurde. Dazu war es nötig, zur Definition der einzelnen Keilstellen einen Nullpunkt zu definieren, was durch Ausnutzung zufälliger Plattenfehler leicht möglich war. Um auch den Einfluß einer eventuellen Inhomogenität des Keils in der Querrichtung auszuschalten, wurden alle Messungen in ganz bestimmtem konstantem Abstand vom Längsrand des Keils ausgeführt. Selbstverständlich geschahen die Messungen an den Aufnahmen selbst dann an gleicher Stelle. Sowohl für den in Herrsching benutzten Keil (K_H) wie auch für den Münchener Keil (K_M) wurden je zwei solcher Untersuchungsaufnahmen hergestellt und die Ergebnisse graphisch ermittelt. Tab. 2 und Abb. 1 und 2 geben die Keilkurven wieder. Die Abbildung zeigt die gute Übereinstimmung der Ergebnisse beider Untersuchungsplatten. Selbstverständlich ist der Nullpunkt der Größenklassenskala willkürlich.

Tabelle 2
Die Keilkurven

Stelle (mm)	Durchlässigkeit (m)	
	K_H	K_M
0.0	0.52	1.28
0.2	0.58	1.28
0.4	0.62	1.28
0.6	0.69	1.28
0.8	0.75	1.30
1.0	0.83	1.31
1.2	0.94	1.33
1.4	1.05	1.36
1.6	1.15	1.41
1.8	1.26	1.54
2.0	1.37	1.72
2.2	1.50	1.96
2.4	1.64	2.29
2.6	1.77	2.72
2.8	1.87	3.00
3.0	1.96	3.20
3.2	2.04	3.31
3.4	2.10	3.38
3.6	2.16	3.40
3.8	2.20	3.40
4.0	2.23	3.40
4.2	2.26	3.40
4.4	2.29	3.40

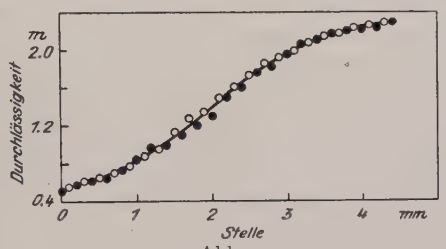

Abb. 1
Keilkurve K_H
Untersuchungsplatte 1: • • •
Untersuchungsplatte 2: ○ ○ ○

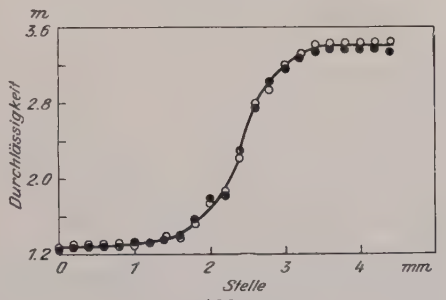

Abb. 2
Keilkurve K_M
Untersuchungsplatte 1: • • •
Untersuchungsplatte 2: ○ ○ ○

Es mag bedenklich erscheinen, so kurze Keile zu verwenden, wobei eine Unsicherheit in der Festlegung der Meßstelle die Resultate beträchtlich verfälschen könnte. Abgesehen davon, daß die Meßstelle sehr sicher festzulegen ist, erschiene aber auch die Verwendung längerer Keile bedenklich, weil man nie ganz sicher sein kann, bei der Aufnahme den Keil tatsächlich mit der Intensität der Sonnenmitte belichtet zu haben. Befand man sich aber merklich vom Sonnenmittelpunkt entfernt, dann kann die Randverdunkelung die Keilschwärzung in unkontrollierbarer Weise überlagern, was systematische Entstellung der Schwärzungskurve zur Folge hätte.

[1]) Photographische Helligkeiten von 245 Sternen heller als vierter Größe. Astron. Nachr. **269**.289 (1940)

c) Die Durchmessung der Platten erfolgte am Hartmannschen Mikrophotometer von Toepfer, wobei die kleinste Blende (0.1 mm × 0.03 mm) verwendet wurde. Zunächst wurden die zu photometrierenden Flecke ausgewählt und eindeutig markiert. Außerdem wurde in die Schicht jeder Platte am Rande ein langer gerader Strich mit einer Nullmarke eingeritzt. Zur Festlegung des Scheibenmittelpunktes auf der Platte sowie der Fleckörter wurde die Platte auf dem Tisch des Photometers solange verschoben, bis der eingeritzte Strich mit einer Laufrichtung des in zwei senkrecht zueinander stehenden Koordinaten beweglichen Plattentisches zusammenfiel. Wurde nun die eingeschnittene Nullmarke auf dem Strich in die Mitte des Photometerausschnittes gebracht, und die Koordinaten des Plattentisches abgelesen, was mit dem Nonius auf 0.1 mm geschehen kann, so waren die Koordinaten des Plattennullpunktes im System der Plattentischkoordinaten bekannt und wegen der Übereinstimmung der einen Laufrichtung des Tisches mit der durch den Strich gegebenen Hauptrichtung der Platte das auf die Hauptrichtung der Platte aufzubauende rechtwinklige Koordinatensystem unmittelbar an die Skala des Photometers angeschlossen. Durch Einstellung der Flecke auf das Meßfenster konnten ihre Relativkoordinaten gegen den Plattennullpunkt sofort ermittelt werden. Bei bekannten Koordinaten des Scheibenmittelpunktes konnten sie leicht in Koordinaten relativ zu ihm umgerechnet werden.

Die Koordinaten der Scheibenmitte ergaben sich als Mittelpunkte von zur Laufrichtung in beiden Koordinaten parallelen Sehnen. Entsprechend konnten die Scheibendurchmesser ermittelt werden.

Die so erhaltenen rechtwinkligen Fleckkoordinaten wurden endlich in Abstände r vom Scheibenmittelpunkt umgerechnet, wobei die Messungen an verschiedenen Platten des gleichen Tages gemittelt wurden. Dasselbe geschah mit den Scheibendurchmessern bzw. -radien R. Wesentlich für unseren Zweck ist ja nun der in Einheiten des Sonnenradius ausgedrückte Fleckort r/R. Bei der Unsicherheit der Festlegung des Scheibenmittelpunktes sowie der Bestimmung des Scheibendurchmessers wäre es illusorisch, eine höhere Genauigkeit als $\pm 0.01\, r/R$ anzustreben, die auch angesichts der ganzen Problemlage nicht notwendig ist. Hinzu kommt, daß die Fleckörter wegen der Ausdehnung der Flecke und ihrer oft unregelmäßigen Form nur mit beschränkter Genauigkeit angebbar sind. Es ist daher in unserem Falle auch überflüssig, dem durch Streueffekte modifizierten Sonnenrand besonders Rechnung zu tragen, wie dies P. ten Bruggencate, W. Grotrian und E. v. d. Pahlen[1]) bei ihren Untersuchungen der Granulation getan haben. Im übrigen ergab der Vergleich der aus verschiedenen Aufnahmen des gleichen Tages erhaltenen Fleckörter, daß tatsächlich der Wert r/R auf etwa ein Hundertstel verbürgt werden kann.

Auf jeder Aufnahme wurden ferner die Fleckdimensionen bestimmt, und zwar möglichst der größte und der kleinste Durchmesser des Gesamtflecks mit Penumbra. Während zur Ermittlung der in Abschnitt **3** behandelten Einstrahlungskorrektion die individuellen Werte jeder Platte verwendet wurden, sind die aus den Durchmessern unter der Annahme elliptischer Form der Flecke gerechneten scheinbaren Flächen (»s. F.«) für Aufnahmen des gleichen Tages gemittelt worden.

Die Photometrierung kleiner Flecke ohne ausgeprägte Penumbra erfolgte durch drei Einstellungen des mittleren Teiles der Umbra. Größere Flecke wurden in zwei senkrecht zueinander stehenden Richtungen mit Zwischenräumen von 0.1 mm durchgemessen, wobei tunlichst der längste und kürzeste Durchmesser erfaßt wurden. Jedes solche Profil wurde im Hin- und Rückgang gemessen. Jeder derart gemessene Fleck erforderte daher rund 70 Einstellungen.

Zur Ermittlung der Photosphärenintensität am Fleckort wurde für alle Flecke die nächste Umgebung durch im allgemeinen acht Einstellungen festgelegt. Um auch den in Abschnitt **1** erwähnten eventuellen Einfluß von Fackeln in der nächsten Fleckumgebung zu prüfen, wurde bei allen unzweifelhaft fackelumgebenen Flecken versucht, auf folgende Weise außerdem eine möglichst ungestörte Photosphärenintensität zu erhalten. Es wurde ein Kranz von Einstellungen in solcher Entfernung um den Fleck gelegt, daß dadurch der Einfluß von Fackeln praktisch beseitigt war. Dieses Verfahren ist natürlich nicht unbedenklich und erfordert vor allem gute photometrische Qualität der Aufnahmen. In einzelnen Fällen wurde auch, besonders bei hervorragenden Aufnahmen, an einer beliebigen anderen Stelle der Platte, die gleichen Mittelpunktsabstand wie der Fleck hatte, eine ungestörte Photosphärenintensität durch drei Einstellungen ermittelt. Da dieses Verfahren nur bei ganz einwandfreien Aufnahmen Sinn hat, wurde es indessen selten angewandt und auch dann die Messung an drei derartigen Stellen durchgeführt.

[1]) Über die Helligkeitsschwankungen und die Struktur der Sonnengranulation im Ultravioletten. Z. Astrophys. **16**.51 (1938).

Schließlich wurde auf jeder Aufnahme zur Bestimmung der Einstrahlungskorrektion nach Abschnitt **3** auch der Intensitätsverlauf am Sonnenrand in Abständen von 0.1 mm durch durchschnittlich zwölf Einstellungen bestimmt. Es bereitete keinerlei Schwierigkeit, die Meßrichtung möglichst senkrecht zum Rand einzustellen. Um diese, für die Einstrahlungskorrektion wichtigen Messungen von zufälligen Abweichungen an einer Randstelle frei zu machen, wurde der Rand an zwei nahezu gegenüberliegenden Stellen gemessen. Der späteren Ermittlung der Einstrahlungskorrektion wurde jene Meßreihe unterlegt, die sich dem nach Abschnitt **3** theoretisch zu erwartenden Randabfall am besten anschloß, da bei der weitaus größten Zahl der Messungen diese Übereinstimmung vorzüglich war.

Zur Ermittlung der Schwärzungskurve jeder Aufnahme wurde endlich die Keilkopie, die ja auf jede Platte aufgenommen worden war, ebenfalls im Hin- und Rückgang in Abständen von 0.2 mm durchphotometriert, wobei durch die Festlegung des in Abschnitt **2** b) bereits erwähnten Nullpunktes diese Messungen einwandfrei an die Keilkurven angeschlossen werden konnten. Auf diese Weise wurden graphisch die Schwärzungskurven der Platten zunächst in Größenklassen erhalten. Da der von den Keilen überdeckte Größenklassenbereich verhältnismäßig eng ist, ergab sich in einzelnen Fällen, insbesondere wegen des schon erwähnten Keilschleiers bei den Herrschinger Aufnahmen, die Notwendigkeit, die Schwärzungskurve ein unbeträchtliches Stück zu extrapolieren. Dies wurde jedoch nur in den Fällen getan, wo die Form der Schwärzungskurve über den Verlauf des zu extrapolierenden Teiles keinen Zweifel ließ und die Extrapolation gering war. Andere Messungen, die eine unsichere Extrapolation erfordert hätten, wurden ausgeschieden. Da ferner die ganze Sonnenscheibe auf einer Aufnahme in meßbarer Schwärzung vorliegen soll, ergab sich, daß besonders der Randabfall vielfach im Gebiete des Durchhangs der Schwärzungskurve lag. Diese Schwierigkeit, der sich auch Wanders[1]) gegenübersah, kann indessen zu ernsten Bedenken keinen Anlaß geben, da die Platten, bei denen dadurch der Randabfall und besonders die Schleierintensität J_S (Abschnitt **3** b) merklich unsicher sind, von der weiteren Untersuchung von vornherein ausgeschlossen wurden. Da die weitere Reduktion der Messungen, wie aus dem folgenden Abschnitt hervorgeht, zum Teil additiv mit Intensitäten rechnen muß, erwies es sich als praktisch, die Größenklassen-Schwärzungskurve jeder Platte außerdem in eine Intensitäts-Schwärzungskurve überzuführen.

In Abb. 3 und 4 sind die Größenklassen-Schwärzungskurve sowie die Intensitäts-Schwärzungskurve für die Platte 3873 gegeben, die als typisch für den allgemeinen Charakter dieser Kurven gelten können.

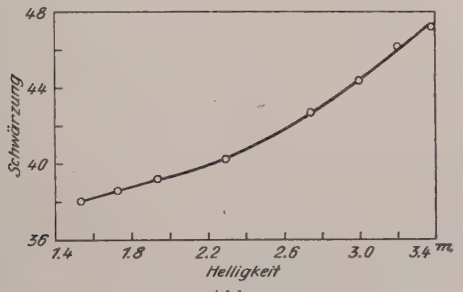

Abb. 3
Schwärzungskurve der Platte 3873

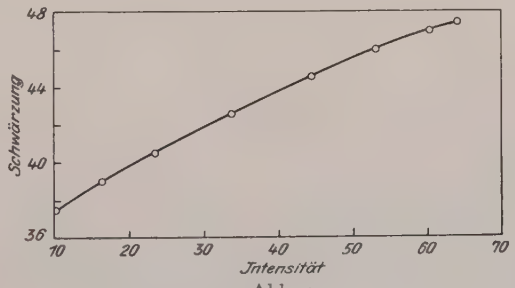

Abb. 4
Intensitäts-Schwärzungskurve der Platte 3873

3. Die Verfälschung der Fleckintensitäten durch Erdatmosphäre, Instrumentarium und Meßfehler

a) Wie in Abschnitt **1** bereits erwähnt, hat zuerst Wanders[2]) nach einem Vorschlag von Pettit und Nichelson[3]) die durch die vereinten zerstreuenden Wirkungen von Erdatmosphäre und Beobachtungsinstrument hervorgerufenen Verfälschungen der Fleckintensität zu bestimmen versucht. Da die verschiedenen Ursachen, die hierbei eine Rolle spielen, wie wirkliche Streuung an Partikeln der Erdatmosphäre, Szintillation, Streueffekte im Instrument sowie besonders auch mangelhafte Fokussierung, mit der durchaus zu rechnen ist, zunächst kaum trennbar sind, nimmt Wanders an, daß sie sich derart vereinen, daß die Intensität eines Lichtpunktes J nach einer Wahrscheinlichkeitsfunktion flächenhaft

[1]) loc. cit. Fußnote 7, S. 106
[2]) loc. cit. Fußnote 5, S. 107
[3]) loc. cit. Fußnote 2, S. 106

zu einer Intensitätsverteilung

$$J(s) = \frac{Ja}{\pi} e^{-as} \tag{1}$$

auseinandergezogen wird. Dabei ist s der Abstand vom Lichtpunkt und a ist ein Genauigkeitsmaß, das die Stärke der Streuung charakterisiert. Eine prinzipiell gleiche Annahme haben übrigens bereits 1929 O. Heckmann und H. Siedentopf[1]) bei ihren Untersuchungen über die Helligkeitsverteilung auf der Sonnenscheibe gemacht.

In fast völliger Strenge konnte nun Wanders unter Voraussetzung von (1) den Verlauf der Intensität am Sonnenrand theoretisch formulieren, wenn der wahre Intensitätsabfall, was ja mindestens nahezu zutrifft, als völlig plötzlich auf null sinkend angenommen wird. Er erhielt so für das scheinbare Randprofil den Ausdruck

$$i(x) = \frac{J_r}{\sqrt{\pi}} \left[(l + m\,x) \int_{-x\sqrt{a}}^{\infty} e^{-u^2}\,\mathrm{d}u + \frac{m}{2\sqrt{a}} e^{-ax^2} \right], \tag{2}$$

worin $i(x)$ die im Abstand x vom wahren Rand gemessene Intensität, J_r die wahre Randintensität, m die Steigung für den als linear verlaufend angenommenen Intensitätsverlauf am Sonnenrand und a das schon definierte Streumaß bedeuten.

Für die scheinbare Intensität $S(x, y)$ an der Fleckstelle x, y erhält Wanders den Ausdruck

$$S(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} J(\xi, \eta)\; U(\xi - x, \eta - y)\,\mathrm{d}\xi\,\mathrm{d}\eta\,, \tag{3}$$

wo J die wahre Intensität bei x, y ist, ξ, η eine beliebige Stelle in der Nähe von x, y bedeutet und U schließlich die durch (1) dargestellte Zerstreuungsfunktion vorstellt. Wanders hat zur Lösung von (3) ein sukzessives Näherungsverfahren angegeben, wobei er die notwendigen Integrationen graphisch an einer vergrößerten Fleckaufnahme ausführt und a aus dem beobachteten Randprofil nach (2) ermittelt.

Dieses »exakte« Verfahren verbietet sich natürlich durch seine Umständlichkeit bei umfangreicheren Untersuchungen. Auch stößt, wenn keine Vergrößerungen der Aufnahmen vorliegen, die Integration auf Schwierigkeiten. Wanders hat deshalb selbst[2]) auf das primitive Verfahren von Pettit und Nichelson[3]) zurückgegriffen, welche einfach den Intensitätsverlauf am Sonnenrand mit demjenigen im Fleck vergleichen. Unter der Annahme, daß der wahre Intensitätsabfall von der Photosphäre zur Umbra plötzlich verläuft, wobei sie von der Existenz der Penumbra absehen, bringen Pettit und Nichelson an die beobachtete Umbraintensität eine Korrektion an, deren halber Betrag sich zur Photosphärenintensität verhält wie die Intensitäten innerhalb und außerhalb des wahren Sonnenrandes im Abstand eines halben Fleckdurchmessers zueinander. Sie vergleichen also die Einstrahlung von der Photosphäre in die Umbra mit der dem beobachteten Randabfall entsprechenden Wirkung zweier der Umbra benachbarter Sonnenränder.

Die Hauptschwäche dieses Verfahrens liegt in der Ignorierung der Penumbra und der Voraussetzung eines »unendlich langen« Fleckes. Wanders[4]) hat daher vorgeschlagen, den Vorgang durch Annahme einer mittleren Penumbra und Kreisförmigkeit des Flecks zu detaillieren, womit er sich wieder mehr dem »exakten« Verfahren nähert.

Wormell[5]) hat das strenge Verfahren etwas modifiziert, indem er ein rasch zum Ziele führendes Verfahren zur Ermittlung von a aus dem Randabfall angibt und im übrigen, im Gegensatz zu Pettit und Nichelson, vor allem die von der Penumbra herrührende Einstrahlung berücksichtigt.

Ehe wir das in vorliegender Arbeit benutzte Verfahren erörtern, wollen wir kurz die Voraussetzungen der Überlegungen von Wanders, sowie Pettit und Nichelson besprechen.

Die Zulässigkeit der Streufunktion U, wie sie in (1) gegeben ist, läßt sich durch Vergleich der nach (2) gerechneten Randprofile mit den beobachteten prüfen. Wanders[2]) sowie P. ten Bruggencate, W. Grotrian und E. v. d. Pahlen[6]) fanden bereits gute Übereinstimmung. Auch die Messungen am

[1]) Zur Bestimmung der Helligkeitsverteilung auf der Sonnenscheibe. Veröff. Univ. Sternw. Göttingen, H. 8 (1929).
[2]) loc. cit. Fußnote 7, S. 106.
[3]) loc. cit. Fußnote 2, S. 106.
[4]) loc. cit. Fußnote 5, S. 107.
[5]) loc. cit. Fußnote 3, S. 106.
[6]) loc. cit. Fußnote 1, S. 110.

vorliegenden Material zeigten überraschende Übereinstimmung mit den von Wanders gegebenen Kurven, wie es aus Abb. 5 hervorgeht. Die Übereinstimmung ist natürlich bei manchen Platten schlechter, doch muß aus den Beobachtungen jedenfalls auf weitgehende Gültigkeit des Ansatzes von Wanders geschlossen werden. Die aus den Messungen des Randabfalls zu entnehmenden, die Stärke der Streuung charakterisierenden a-Werte schwanken etwa zwischen $a=0.180$ (Bogensek.$^{-2}$) und $a=0.035$. Die Herrschinger Aufnahmen entsprechen einem allgemeinen a-Wert von etwa 0.05, die Münchener, entsprechend ihrer besseren Qualität, einem solchen von 0.09. Wanders erhielt bekanntlich a-Werte zwischen 0.02 und 0.10, in Potsdam ergab sich $a=0.09$.

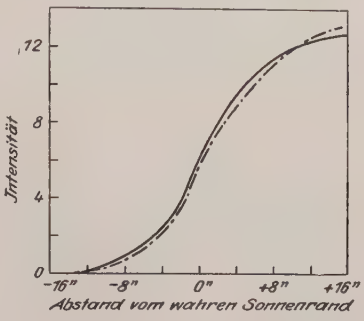

Abb. 5
Gerechnetes und beobachtetes Randprofil der Platte 3633.
Beobachtung: ———
Rechnung: –·–·–·
($a=0.018$)

Was nun die Annahme eines plötzlichen Intensitätsabfalles im Fleck von der Photosphäre zur Penumbra und von hier zur Umbra betrifft, so ist kein Zweifel, daß mit steigender Güte der Aufnahmen das keilförmige Fleckprofil immer mehr in ein »Kastenprofil« übergeht, wie dies die für die Herrschinger und Münchener Aufnahmen typischen Profile in Abb. 6 zeigen. Vor allem zeigen auch die vorzüglichen Aufnahmen von H. Strebel[1]) einen sehr plötzlichen Intensitätsabfall. Im übrigen ist das Problem des wahren Fleckprofils noch offen und besonderer Untersuchung wert.

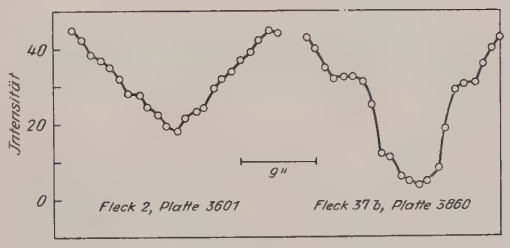

Abb. 6
Vergleich zweier typischer Fleckprofile

Zur Entwicklung eines Näherungsverfahrens für die Einstrahlungskorrektion betrachten wir die Veränderung eines Modellfleckes durch Streueffekte nach Formel (3).

Ein kreissymmetrischer Fleck, dessen Umbraradius s_1 und dessen Penumbraradius s_2 ist, möge die wahre Umbraintensität J_U, die entsprechende Penumbraintensität J_P und die Photosphärenintensität J_{Ph} besitzen. Die beobachtete Intensität S der Fleckmitte ergibt sich dann nach (3) zu

$$S_{(0.0)}=J_U(1-e^{-as_1^2})+J_P(e^{-as_1^2}-e^{-as_2^2})+J_{Ph}\,e^{-as_2^2}, \tag{4}$$

wobei a wieder das Streuungsmaß ist. Setzt man $J_{P'}=J_P-J_U$ und $J_{Ph'}=J_{Ph}-J_U$, so geht (4) in

$$S=J_U+J_{P'}(e^{-as_1^2}-e^{-as_2^2})+J_{Ph'}\,e^{-as_2^2} \tag{5}$$

über. $S-J_U$ ist die »Einstrahlungskorrektion«.

Die Annahme von Pettit und Nichelson besteht neben der Vernachlässigung von J_P offenbar darin, daß sie den Faktor $e^{-as_2^2}$ genähert dem Randabfall entnehmen, wobei nicht ganz klar ist, ob sie die absolute oder die gegen J_U gemessene Photosphärenintensität benutzen.

Um nun einerseits wenigstens bei einem Teil der Beobachtungen eine genauere, besonders die Penumbra berücksichtigende Form der Einstrahlungskorrektion anwenden zu können und so das doch sehr summarische Verfahren von Pettit und Nichelson zu detaillieren, andererseits ein mit Verwendung des gemessenen Randabfalls jeder Aufnahme möglichst schnell zum Ziele führendes Verfahren zu benutzen, wurde folgender Ansatz gemacht: Unter Annahme eines zweimaligen plötzlichen Intensitätsabfalles im Fleck könnte man nach (5) die Faktoren bei $J_{P'}$ und $J_{Ph'}$ näherungsweise dem Randabfall entnehmen und an $J_{P'}$ und $J_{Ph'}$ anbringen. Denkt man sich nämlich, wie es Abb. 7 zeigt, die Einstrahlungskorrektion in der Fleckmitte zusammengesetzt aus den Einstrahlungen E_P von der Penumbra und E_{Ph} von der Photosphäre, so kann man diese beiden Vorgänge als dem Randabfall analog ansehen. Seien die Messungen der scheinbaren Fleckintensitäten bei den Stellen

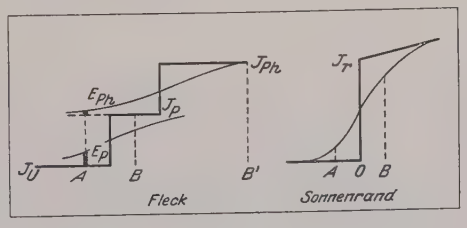

Abb. 7
Zur Bestimmung der Einstrahlungskorrektion

[1]) Der innere helle Rand der Penumbra von Sonnenflecken. Z. Astrophys. **5**.96 (1932).

A und B und die der Photosphäre bei B' erfolgt, dann können die Einstrahlungsfaktoren bei eindimensionaler Betrachtung dem Randabfall genähert als Verhältnis J_A/J_B entnommen werden, wo $A-O=O-B$ (Abb. 7) und $A-B$ gleich dem Abstand der Stellen vom Fleckmittelpunkt ist, wo die Messung der Penumbra- bzw. Photosphärenintensität erfolgt ist[1]). Es wäre mithin die Einstrahlungskorrektion EK, wobei wir einen Faktor F vorsetzen, der der Flächenhaftigkeit der Verhältnisse beim Fleck Rechnung tragen soll, näherungsweise gegeben durch

$$EK \approx F\left[J_{P'}\left(\frac{J_A}{J_B}\right)_{A-B=U-P} + J_{Ph'}\left(\frac{J_A}{J_B}\right)_{A-B=U-Ph}\right], \tag{6}$$

wenn $U-P$ und $U-Ph$ die Abstände zwischen den Stellen angeben, wo die Umbra-, Penumbra- und Photosphärenintensität gemessen wurden.

Da nun $J_{P'}$ und $J_{Ph'}$ gar nicht bekannt sind, da die wahre Umbraintensität erst ermittelt werden soll, kann man dafür etwa die beobachteten Intensitäten J_P bzw. J_{Ph} einsetzen und dem durch den neuen Faktor L Rechnung tragen. Man hat also

$$EK \approx L\left[J_P\left(\frac{J_A}{J_B}\right)_{A-B=U-P} + J_{Ph}\left(\frac{J_A}{J_B}\right)_{A-B=U-Ph}\right]. \tag{7}$$

Für die Flecke, deren Penumbra nicht gemessen wurde, benutzen wir die vereinfachte Beziehung

$$EK' = KJ_{Ph}\left(\frac{J_A}{J_B}\right)_{A-B=U-Ph} \tag{8}$$

die im wesentlichen das Verfahren von Pettit und Nichelson wiedergibt.

Zur Bestimmung der Faktoren L und K vergleicht man zweckmäßig die an einem kreissymmetrischen Modellfleck nach (4) streng zu berechnende Einstrahlungskorrektion mit der aus den Formeln (7) und (8) ohne die Faktoren sich ergebenden. Die folgende Tab. 3 gibt für einige Fälle die entsprechenden Werte.

Tabelle 3

Strenge und genäherte Einstrahlungskorrektion

a	Umbra-radius mm	Penumbra-radius mm	J_U	J_P	J_{Ph}	Einstrahlungskorrektion streng	genähert
0.018	0.2	0.3	60	70	100	20.0	26.4
0.06	0.1	0.2	70	90	100	17.7	18.9
0.06	0.08	0.15	70	90	100	21.4	26.8
0.06	0.2	0.3	70	90	100	6.5	10.0
0.09	0.2	0.3	60	70	100	2.1	4.8
0.06	0.1	0.2	40	70	100	30.2	46.9

Die genäherten Werte beziehen sich auf Flecke ohne gemessene Penumbra nach (8), nur die letzte Zeile gibt ein Beispiel für den Faktor L nach (7). Die Einstrahlungskorrektion spielt bei den größeren Flecken nämlich eine so geringe Rolle und wird bei größeren Fleckdimensionen und geringerer Streuung so schnell unmerklich, daß das eine Beispiel genügen dürfte. Man sieht, daß es bei der Unsicherheit des Verfahrens zunächst berechtigt ist, die Faktoren L und $K=1$ zu setzen, womit die Beziehungen (7) und (8) die einfachere Form

$$EK \approx J_P\left(\frac{J_A}{J_B}\right)_{A-B=U-P} + J_{Ph}\left(\frac{J_A}{J_B}\right)_{A-B=U-Ph} \tag{7'}$$

bzw.

$$EK' \approx J_{Ph}\left(\frac{J_A}{J_B}\right)_{A-B=U-Ph} \tag{8'}$$

annehmen. Es wird sich später auch zeigen, daß sich die so korrigierten Intensitäten kleiner Flecke den von Einstrahlung weitgehend freien Intensitäten größerer Flecke zwanglos einfügen. Es scheinen sich demnach die verschiedenen Vernachlässigungen einigermaßen aufzuheben.

Bei der praktischen Anwendung bereitete es im allgemeinen keine Schwierigkeit, dem gemessenen Randprofil die Intensitäten J_A und J_B zu entnehmen. Da nämlich der Ausdruck (2) für den Randabfall für $x=0$ in

$$i_{(x=0)} = \tfrac{1}{2}J_r\left(1+\frac{m}{\sqrt{a\pi}}\right) \tag{9}$$

übergeht, kann, da $m/\sqrt{a\pi}$ nur etwa zwischen 0.02 und 0.1 schwankt, fast immer der wahre Sonnenrand

[1]) Dieses Verfahren hat sich nach verschiedenen Versuchen als für die Praxis am zweckmäßigsten erwiesen.

nach der Abszisse mit der Ordinate $\frac{1}{2}J_r$ verlegt werden, wobei J_r als Stelle des beginnenden Steilabfalls der Intensitätskurve leicht zu ermitteln ist.

Bei Flecken, deren beide gemessene Profile sich wesentlich unterschieden oder bei denen die Einzelprofile selbst merklich unsymmetrisch waren, wurden nach (7′) unter Umständen verschiedene Einstrahlungskorrektionen berechnet und entsprechend gemittelt. Es war so möglich, den individuellen Eigenschaften der größeren Flecke bei der Einstrahlungskorrektion weitgehend Rechnung zu tragen. Hierin liegt ein wesentlicher Vorteil dieses Verfahrens.

Nachdem bisher nur die Verfälschung der Umbraintensität durch die Streueinflüsse behandelt wurde, wenden wir uns kurz der Penumbra zu. Wie schon aus der durch Abb. 7 illustrierten und ausführlich erörterten Vorstellung hervorgeht, erleidet die Penumbra einen Intensitätsverlust durch Ausstrahlung in die Umbra, während sie an Intensität gewinnt von der Photosphäre her. Darf man schon von vornherein im Rahmen unserer genäherten Betrachtungen wegen der ungefähren Gleichheit der beiden Intensitätsabfälle im Fleck annehmen, daß beide Effekte sich aufheben, so erhält diese Ansicht eine Stütze durch einen Versuch von Wormell[1]), der die Streueinflüsse auf ein ganzes Fleckprofil, das er ganz einfach nach unseren bisherigen Annahmen und zur Vereinfachung der Rechnung auch noch »unendlich lang« voraussetzte, berechnet hat. Darnach wird auch bei starker Streuung die wahre Penumbraintensität nahe beobachtet. Wir werden also für die Penumbra keine Einstrahlungskorrektion ermitteln. Darin liegt auch eine nachträgliche Rechtfertigung der Verwendung der beobachteten (gen der) Penumbraintensitäten bei der Formel für Einstrahlung.

b) Die im wesentlichen durch den photographischen Vorgang bedingten Verfälschun- Fleckintensitäten können in Schleier und Eberhardeffekt bestehen.

Bei den Messungen des Randabfalls zeigte sich auch in beliebigem Abstand von der Sonnenscheibe noch eine Restintensität J_S, die sich im wesentlichen als konstant erwies. Diese Restintensität betrug im allgemeinen etwa 12% der Photosphärenintensität in der Scheibenmitte. Nachdem Wanders[2]) eine Restintensität von nur etwa 3% gefunden hat, scheint bei den vorliegenden Aufnahmen die Beseitigung von Streulicht während der Aufnahme nicht ganz gelungen zu sein, trotz der besonderen Vorsichtsmaßnahmen, wie völlig abgedunkelter Beobachtungsraum, Schutzvorhang um die Kamera usw. Diese Restintensität darf als additive Konstante angesehen werden, weshalb sie von allen gemessenen Intensitäten subtrahiert wurde. Bei dem hohen Prozentsatz, den sie im Vergleich zur Photosphäre darstellt, war ihre genauere Bestimmung wichtig, weshalb, wie schon erwähnt, Platten mit (wegen Unbestimmtheit des betreffenden Teils der Schwärzungskurve) unsicher bestimmter Restintensität nicht weiter verwendet wurden.

Die Wirkung des Eberhardeffektes auf Gebilde mit allmählichem Intensitätsverlauf am Rande, wie sie die Flecke darstellen, ist nach den Untersuchungen von N. Valenkov[3]) äußerst gering. Auch die Untersuchungen von Barabascheff und Semejkin[4]) deuten in dieser Richtung. Dieser Effekt darf jedenfalls den übrigen Schwierigkeiten des Problems gegenüber als unwesentlich bezeichnet werden.

c) Zur Bestimmung der Beobachtungs- und Korrektionsfehler stand die Aufnahme 3621 zur Verfügung, die mit der analogen Platte 3617 verglichen wurde. Ein Vergleich von zwölf beobachteten und zehn wegen Einstrahlung korrigierten Intensitäten ergab mittlere absolute Differenzen von 0.03 bzw. 0.11. In der Größe des letzteren Wertes spricht sich die Unsicherheit der Einstrahlungskorrektion aus. Der mittlere Fehler eines beobachteten Intensitätsverhältnisses mag daher zu m. F. $= \pm 0.02$, derjenige eines wegen Einstrahlung korrigierten Intensitätsverhältnisses zu m. F.′ $= \pm 0.08$ angesetzt werden.

4. Die Streuung der Fleckintensitäten

Bereits in Abschnitt 1 wurde auf den statistischen Charakter des Intensitätsproblems der Sonnenflecke hingewiesen. Dieser soll nunmehr näher formuliert werden.

Wir nehmen an, daß die Fleckintensität, worunter wir entweder das Verhältnis J_U/J_{Ph} oder auch das auf die Penumbra bezügliche J_P/J_{Ph} verstehen können, keine strenge Konstante sei, sondern auch für einen konstanten Wert des Fleckortes, der Wellenlänge oder der Fleckgröße, sich nach Art einer Fehlerverteilung darstellen läßt. Dabei sind natürlich die wahren, von Beobachtungsfehlern usw.

[1]) loc. cit. Fußnote 3, S. 106.
[2]) loc. cit. Fußnote 7, S. 106.
[3]) Über den Eberhardeffekt und seine Bedeutung für die photographische Photometrie. Z. wiss. Photogr. **27**.236 (1929); siehe auch G. Eberhard: Handb. Astrophys. **2**.510 (1931).
[4]) loc. cit. Fußnote 5, S. 106.

freien Werte gemeint. Nennen wir diese Intensitäten einfach J und J_M ihr statistisches Mittel, dann läßt sich also schreiben

$$W(J) = \frac{s}{\sqrt{\pi}} e^{-s^2(J-J_M)^2}, \tag{10}$$

wo $W(J)$ die Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Intensität J ist und s das Maß für die Streuung um den Mittelwert J_M bedeutet.

Einer einzelnen Fleckintensität, die irgendwie ganz wahllos ermittelt wurde, kann man daher eine »mittlere natürliche Abweichung« von J_M zuordnen, die durch

$$a = \frac{1}{s\sqrt{2}} \tag{11}$$

gegeben ist. Hat man ein Material von N Intensitäten untersucht, dann ist im Mittel eine »mittlere natürliche Abweichung«

$$A = \frac{1}{s\sqrt{2N}} \tag{12}$$

zu erwarten.

Irgendein Effekt der Intensitäten, etwa ein Randeffekt R, ist offenbar prinzipiell nicht feststellbar, wenn

$$R \ll \frac{1}{s\sqrt{2N}}. \tag{13}$$

Umgekehrt gilt, daß zur Ermittlung von R bei gegebenem s die Ungleichung

$$N \gg \frac{1}{2s^2 R^2} \tag{14}$$

erfüllt sein muß. Die kritische, mindestens notwendige Beobachtungsanzahl wäre

$$N' = \frac{1}{2s^2 R^2} = \frac{a^2}{R^2}. \tag{15}$$

Diesen Ansatz kann man nun durch Einbeziehung der Beobachtungsfehler erweitern. Ist nämlich m der mittlere Fehler einer Intensität, dann wird der m. F. eines Mittels aus N Beobachtungen

$$M = \frac{m}{\sqrt{N}}. \tag{16}$$

Die Vereinigung der »natürlichen Abweichungen« sowie der Beobachtungsfehler führt auf den Gesamtfehler des Mittels aus N Intensitäten

$$F = \sqrt{\frac{m^2 + a^2}{N}}. \tag{17}$$

Analog (15) ergibt sich

$$N'' = \frac{m^2 + a^2}{R^2}. \tag{18}$$

Das Verhalten des Beobachtungsmaterials und die daraus zu ziehenden Schlüsse werden später besprochen.

5. Die Resultate

a) In dem Katalog der Einzelmessungen (Tabn. 4–21) sind die Resultate für sämtliche gemessenen Flecke zusammengestellt. Im ganzen wurden 186 Flecke in verschiedenen Positionen untersucht, ein gegen die Beobachtungen früherer Bearbeiter [größte Anzahl = 56 bei Wilson[1])] wesentlich vergrößertes Material. Die Beobachtungen in Herrsching und München sind getrennt aufgeführt, außerdem ist die Scheidung nach den verschiedenen Spektralbereichen durchgeführt. Schließlich wurden die kleineren Flecke, bei denen eine Messung der Penumbra nicht erfolgt ist und zur Ermittlung der Einstrahlungskorrektion die vereinfachte Formel (8′) [Abschn. 3] gedient hat, von den größeren getrennt, bei denen die Penumbra aus den gemessenen Profilen erhalten wurde. Dabei ist zu bemerken, daß wegen der schlechteren Qualität der Herrschinger Aufnahmen die Penumbra in vielen Fällen unsicher festzulegen war, während bei dem Münchener Material die wenigen unsicheren Penumbramessungen sogar grundsätzlich ausgeschieden worden sind. (Erläuterungen siehe S. 121.)

1) loc. cit. Fußnote 1, S. 106.

Katalog der Einzelmessungen

Tabelle 4
Herrsching, kleine Umbra, Filter leer

Fleck	Platte	r/R	s. Fläche	J_{Beob}	J_U
1	3607	0.79	200	0.83	0.71
1a	»	0.76	80	0.84	0.61
3	»	0.80	150	0.89	0.73
5	»	0.75	150	0.84	0.68
11	»	0.63	70	0.80	0.61
11a	»	0.61	110	0.87	0.72
11b	»	0.62	50	0.94	0.59
11c	»	0.62	50	0.85	0.58
12	»	0.60	60	0.85	0.66
1	3611	0.92	70	0.89	0.60
1a	»	0.90	90	0.86	0.60
13e	»	0.69	80	0.88	0.49
14	»	0.30	100	0.96	0.65
15	»	0.31	180	0.82	0.60
1	3615	0.98	170	0.98	0.80
2	»	0.94	240	0.74	0.63
14	»	0.38	80	0.80	0.59
15	»	0.43	120	0.72	0.45
16	»	0.98	200	0.88	0.88
17b	3633	0.61	80	0.92	0.74
17c	»	0.66	400	0.82	0.77
17d	»	0.70	280	0.84	0.72
18	»	0.87	110	0.92	0.61
17c	3644	0.37	200	0.83	0.70
17d	»	0.40	300	0.79	0.71
17g	»	0.35	200	0.78	0.69
17h	»	0.34	110	0.79	0.52
17e	»	0.45	260	0.86	0.76
17f	»	0.44	80	0.85	0.55
18	»	0.61	100	0.87	0.59
19	»	0.79	90	0.91	0.62
20	»	0.85	80	0.94	0.64
17c	3647	0.34	80	0.83	0.68
17d	»	0.31	700	0.77	0.77
17g	»	0.30	100	0.83	0.73
17h	»	0.30	270	0.85	0.79
18	»	0.47	90	0.82	0.63
19	»	0.66	80	0.83	0.64
21a	»	0.98	90	0.84	0.67

Tabelle 5
Herrsching, kleine Umbra, Filter blau

Fleck	Platte	r/R	s. Fläche	J_{Beob}	J_U
1	3608	0.79	200	0.85	0.74
1a	»	0.76	80	0.87	0.61
3	»	0.80	150	0.87	0.70
5	»	0.75	150	0.89	0.74
8	»	0.63	90	0.91	0.66
9	»	0.62	120	0.87	0.62
10	»	0.64	90	0.86	0.61
11	»	0.63	70	0.81	0.61
11a	»	0.61	110	0.91	0.52
11b	»	0.62	50	0.92	0.64
11c	»	0.62	50	0.87	0.59
12	»	0.60	60	0.91	0.63
1	3612	0.92	70	0.90	0.63
1a	»	0.90	90	0.84	0.59
13e	»	0.69	80	0.88	0.61
14	»	0.30	100	0.90	0.67
15	»	0.31	180	0.78	0.61
1	3616	0.98	170	0.91	0.77
2	»	0.94	240	0.77	0.56
14	»	0.38	80	0.83	0.53
15	3616	0.43	120	0.75	0.45
16	»	0.98	200	0.83	0.70
13a	3620	0.69	60	0.98	0.58
13b	»	0.67	70	0.82	0.43
13c	»	0.66	90	1.00	0.60
16a	»	0.42	70	0.90	0.61
16b	»	0.44	80	0.74	0.33
16c	»	0.43	80	0.85	0.57
16d	»	0.44	80	0.92	0.51
16f	»	0.46	90	0.90	0.33
16e	»	0.59	100	0.76	0.23
16g	»	0.58	20	0.83	0.26
17b	3628	0.88	150	0.84	0.79
17c	»	0.90	150	0.89	0.83
17d	»	0.92	220	0.82	0.82
17e	»	0.90	110	0.72	0.77
17b	3632	0.61	80	0.84	0.62
17c	»	0.66	400	0.79	0.71
17d	»	0.70	280	0.84	0.73
17e	»	0.67	100	0.72	0.51
18	»	0.87	110	0.87	0.61
17c	3641	0.37	200	0.76	0.65
17d	»	0.40	300	0.74	0.64
17g	»	0.35	200	0.72	0.56
17h	»	0.34	110	0.78	0.58
17e	»	0.45	260	0.83	0.73
17f	»	0.44	80	0.80	0.62
18	»	0.61	100	0.82	0.67
19	»	0.79	90	0.84	0.73
20	»	0.85	80	0.88	0.67
17c	3646	0.34	80	0.71	0.40
17d	»	0.31	700	0.71	0.67
17g	»	0.30	100	0.73	0.53
17h	»	0.30	270	0.81	0.72
18	»	0.67	90	0.70	0.55
19	»	0.66	80	0.82	0.60
21a	»	0.98	90	0.85	0.63

Tabelle 6
Herrsching, kleine Umbra, Filter UV

Fleck	Platte	r/R	s. Fläche	J_{Beob}	J_U
3	3601	0.70	60	0.82	0.44
4	»	0.70	100	0.83	0.32
5	»	0.66	70	0.83	0.39
6	»	0.64	40	0.89	0.28
7	»	0.63	40	0.88	0.27
8	»	0.61	150	0.72	0.54
9	»	0.58	150	0.79	0.61
10	»	0.53	150	0.85	0.67
11	»	0.70	50	0.96	0.36
12	»	0.71	250	0.80	0.55
1	3605	0.79	200	0.87	0.70
1a	»	0.76	80	0.94	0.42
3	»	0.80	150	0.85	0.36
5	»	0.75	150	0.82	0.33
11	»	0.63	70	0.80	0.28
11a	»	0.61	110	0.88	0.24
11b	»	0.62	50	0.89	0.36
11c	»	0.62	50	0.82	0.23
12	»	0.60	60	0.82	0.32
1	3609	0.92	70	0.86	0.47
1a	»	0.90	90	0.85	0.67
13e	»	0.69	80	0.75	0.39
1	3613	0.98	170	0.94	0.83
2	»	0.94	240	0.77	0.71
14	»	0.38	80	0.79	0.46

Fleck	Platte	r/R	s. Fläche	J_{Beob}	J_U
15	3613	0.43	120	0.70	0.51
16	»	0.98	200	0.77	0.47
13a	3617	0.69	60	0.91	0.50
13b	»	0.67	70	0.81	0.62
13c	»	0.66	90	0.91	0.72
16a	»	0.42	70	0.86	0.58
16b	»	0.44	80	0.68	0.51
16c	»	0.43	80	0.77	0.59
16d	»	0.44	80	0.82	0.64
16f	»	0.46	40	0.86	0.56
16e	»	0.59	100	0.77	0.58
16g	»	0.58	20	0.82	0.25
17b	3635	0.61	80	0.86	0.64
17c	»	0.66	400	0.78	0.78
17d	»	0.70	280	0.83	0.79
17e	»	0.67	100	0.73	0.55
18	»	0.87	110	0.91	0.76
17c	3636	0.50	400	0.65	0.60
17d	»	0.54	380	0.74	0.70
17g	»	0.49	180	0.72	0.52
17h	»	0.48	340	0.75	0.66
17e	»	0.54	150	0.72	0.50
17f	»	0.51	100	0.79	0.57
18	»	0.75	120	0.84	0.63
19	»	0.90	200	0.92	0.72
20	»	0.94	160	0.84	0.65
17c	3643	0.37	200	0.86	0.65
17d	»	0.40	300	0.81	0.62
17g	»	0.35	200	0.85	0.65
17h	»	0.34	110	0.85	0.64
17e	»	0.45	260	0.89	0.70
17f	»	0.44	80	0.85	0.54
18	»	0.61	100	0.88	0.57
19	»	0.79	90	0.90	0.59
20	»	0.85	80	0.93	0.60
17c	3645	0.34	80	0.71	0.21
17d	»	0.31	700	0.74	0.67
17g	»	0.30	100	0.74	0.72
17h	»	0.30	270	0.79	0.63
18	»	0.47	90	0.69	0.15
19	»	0.66	80	0.79	0.29
21a	»	0.98	90	0.85	0.58

Tabelle 7
Herrsching, große Umbra, Filter leer

Fleck	Platte	r/R	s. Fläche	J_{Beob}	J_U
2	3607	0.70	900	0.46	0.40
13	»	0.82	600	0.52	0.40
2	3611	0.84	600	0.51	0.40
13	»	0.65	500	0.55	0.47
13d	»	0.67	250	0.74	0.51
13	3615	0.46	1100	0.49	0.37
17	3633	0.69	850	0.58	0.42
17a	»	0.58	600	0.69	0.46
17	3644	0.40	1100	0.58	0.50
17a	»	0.28	500	0.70	0.52
17	3647	0.34	1000	0.55	0.53
17a	»	0.33	400	0.73	0.67
21	»	0.95	390	0.59	0.40

Tabelle 8
Herrsching, große Umbra, Filter blau

Fleck	Platte	r/R	s. Fläche	J_{Beob}	J_U
2	3608	0.70	900	0.56	0.48
13	»	0.82	600	0 56	0.44
2	3612	0.84	600	0.59	0.44
13	»	0.65	500	0.50	0.39
13d	3612	0.67	250	0.72	0.49
13	3616	0.46	1100	0.50	0.39
13	3620	0.74	500	0.60	0.25
16	»	0.32	600	0.60	0.31
17	3628	0.92	300	0.65	0.63
17a	»	0.87	170	0.64	0.62
17	3632	0.69	850	0.53	0.39
17a	»	0.58	600	0.69	0.44
17	3641	0.40	1100	0.54	0.43
17a	»	0.28	500	0.69	0.56
17	3646	0.34	1000	0.52	0.43
17a	»	0.33	400	0.62	0.39
21	»	0.95	390	0.58	0.39

Tabelle 9
Herrsching, große Umbra, Filter UV

Fleck	Platte	r/R	s. Fläche	J_{Beob}	J_U
1	3601	0.68	300	0.77	0.56
2	»	0.59	1500	0.42	0.42
13	»	0.91	400	0.63	0.24
2	3605	0.70	900	0.42	0.42
13	»	0.82	600	0.56	0.43
2	3609	0.84	600	0.62	0.57
13	»	0.65	500	0.52	0.41
13d	»	0.67	250	0.60	0.52
13	3613	0.46	1100	0.44	0.44
13	3617	0.74	500	0.50	0.50
16	»	0.32	600	0.51	0.45
17	3635	0.69	850	0.68	0.64
17a	»	0.58	600	0.55	0.48
17	3636	0.54	880	0.43	0.42
17a	»	0.33	600	0.55	0.44
17	3643	0.40	1100	0.69	0.47
17a	»	0.28	500	0.74	0.38
17	3645	0.34	1000	0.47	0.35
17a	»	0.33	400	0.59	0.29
21	»	0.95	390	0.61	0.18

Tabelle 10
Herrsching, Penumbra, Filter leer

Fleck	Platte	r/R	s. Fläche	J_P
2	3607	0.70	900	0.79
13	»	0.82	600	0.76
2	3611	0.84	600	0.76
13	»	0.65	500	0.89
13d	»	0.67	250	0.93
13	3615	0.46	1100	0.84
17	3633	0.69	850	0.76
17a	»	0.58	600	0.79
17	3644	0.40	1100	0.73
17a	»	0.28	500	0.82
17	3647	0.34	1000	0.71
17a	»	0.33	400	0.89
21	»	0.95	390	0.80

Tabelle 11
Herrsching, Penumbra, Filter blau

Fleck	Platte	r/R	s. Fläche	J_P
2	3608	0.70	900	0.82
13	»	0.82	600	0.82
2	3612	0.84	600	0.84
13	»	0.65	500	0.76
13d	»	0 67	250	0.86
13	3616	0.46	1100	0.67
13	3620	0.74	500	0.79

Fleck	Platte	r/R	s. Fläche	J_P
16	3620	0.32	600	0.75
17	3628	0.92	300	0.82
17a	»	0.87	170	0.82
17	3632	0.69	850	0.69
17a	»	0.58	600	0.81
17	3641	0.40	1100	0.70
17a	»	0.28	500	0.79
17	3646	0.34	1000	0.75
17a	»	0.33	400	0.83
21	»	0.95	390	0.85

Tabelle 12
Herrsching, Penumbra, Filter UV

Fleck	Platte	r/R	s. Fläche	J_P
1	3601	0.68	300	0.93
2	»	0.59	1500	0.68
13	»	0.91	400	0.82
2	3605	0.70	900	0.71
13	»	0.82	600	0.78
2	3609	0.84	600	0.79
13	»	0.65	500	0.63
13d	»	0.67	250	0.84
13	3613	0.46	1100	0.66
13	3617	0.74	500	0.82
16	»	0.32	600	0.74
17	3635	0.69	850	0.76
17a	»	0.58	600	0.92
17	3636	0.54	880	0.83
17a	»	0.33	600	0.79
17	3643	0.40	1100	0.87
17a	»	0.28	500	0.85
17	3645	0.34	1000	0.75
17a	»	0.33	400	0.77
21	»	0.95	390	0.80

Tabelle 13
München, kleine Umbra, Filter leer

Fleck	Platte	r/R	s. Fläche	J_{Beob}	J_U
45	3883	0.55	260	0.71	0.55
49a	»	0.21	550	0.68	0.62
51	»	0.96	90	0.85	0.75
46	3888	0.44	150	0.50	0.41
47	»	0.45	150	0.69	0.63
49b	»	0.67	200	0.73	0.65
52	»	0.94	150	0.75	0.69
56	»	0.45	30	0.75	0.68
57	»	0.45	30	0.74	0.57
58	»	0.50	30	0.76	0.66
59	»	0.49	40	0.73	0.64
60	»	0.43	60	0.65	0.56
61	»	0.43	100	0.65	0.56

Tabelle 14
München, kleine Umbra, Filter blau

Fleck	Platte	r/R	s. Fläche	J_{Beob}	J_U
39	3860	0.93	50	0.75	0.59
36	3861	0.25	1400	0.38	0.25
45	3884	0.55	260	0.70	0.58
51	»	0.96	90	0.87	0.75

Tabelle 15
München, kleine Umbra, Filter UV

Fleck	Platte	r/R	s. Fläche	J_{Beob}	J_U
26	3842	0.56	260	0.33	0.20
27	»	0.69	40	0.59	0.37
28	»	0.93	50	0.69	0.55
29	3842	0.95	200	0.73	0.63
30	»	0.95	90	0.71	0.57
33	»	0.69	100	0.55	0.40
34	»	0.78	50	0.67	0.52
38	3849	0.54	180	0.68	0.61
39	»	0.61	150	0.72	0.62
38	3853	0.73	40	0.70	0.53
39	»	0.81	90	0.53	0.45
39	3859	0.93	50	0.67	0.42
40a	3881	0.35	120	0.73	0.59
40b	»	0.37	140	0.72	0.55
42	»	0.41	40	0.69	0.55
44	»	0.61	40	0.75	0.60
46	3887	0.44	150	0.35	0.30
47	»	0.45	150	0.55	0.46
49b	»	0.67	200	0.47	0.42
52	»	0.94	150	0.63	0.56
56	»	0.45	30	0.62	0.19
57	»	0.45	30	0.56	0.13
58	»	0.50	30	0.64	0.31
59	»	0.49	40	0.61	0.30
60	»	0.43	60	0.46	0.21
61	»	0.43	100	0.50	0.27

Tabelle 16
München, große Umbra, Filter leer

Fleck	Platte	r/R	s. Fläche	J_{Beob}	J_U	$J_{U'}$
40	3870	0.86	800	0.40	0.36	0.42
41	»	0.67	750	0.37	0.33	0.33
42	»	0.86	250	0.53	0.45	0.54
43	»	0.83	800	0.33	0.31	0.37
46	3883	0.50	260	0.69	0.53	—
47	»	0.46	700	0.68	0.57	—
48	»	0.35	1200	0.54	0.44	0.44
49	»	0.46	5500	0.36	0.36	0.36
49b	»	0.19	900	0.62	0.54	0.54
49c	»	0.23	600	0.64	0.58	0.58
49d	»	0.24	180	0.72	0.62	0.62
49e	»	0.32	650	0.59	0.54	0.54
50	»	0.93	130	0.69	0.45	0.46
48	3888	0.61	900	0.13	0.10	0.11
49	»	0.78	5000	0.24	0.24	0.24
49c	»	0.76	800	0.50	0.47	0.48
49d	»	0.80	300	0.54	0.41	0.43
49e	»	0.84	400	0.52	0.47	0.47
53	»	0.87	550	0.43	0.35	0.37
54	»	0.81	1100	0.29	0.27	0.27
55	»	0.49	500	0.54	0.47	—

Tabelle 17
München, große Umbra, Filter blau

Fleck	Platte	r/R	s. Fläche	J_{Beob}	J_U	$J_{U'}$
36	3860	0.22	450	0.44	0.31	0.32
37a	»	0.46	600	0.35	0.31	0.31
37b	»	0.52	1100	0.11	0.08	0.08
37c	»	0.62	2500	0.24	0.19	0.20
37d	»	0.66	1500	0.21	0.19	0.20
37a	3861	0.63	300	0.38	0.25	—
37b	»	0.69	1100	0.15	0.11	—
37c	»	0.77	1500	0.32	0.27	—
37d	»	0.80	1400	0.24	0.22	—
40	3873	0.86	800	0.45	0.43	0.44
41	»	0.67	750	0.39	0.39	0.39
42	»	0.86	250	0.48	0.33	0.35
43	»	0.83	800	0.37	0.33	0.35

Fleck	Platte	r/R	s. Fläche	J_{Beob}	J_U	$J_{U'}$
46	3884	0.50	260	0.61	0.47	—
47	»	0.46	700	0.62	0.49	—
50	»	0.93	130	0.67	0.32	0.33

Tabelle 18

München, große Umbra, Filter UV

Fleck	Platte	r/R	s. Fläche	w. Fläche	J_{Beob}	J_U	$J_{U'}$
22	3842	0.46	1350	1520	0.17	0.16	0.18
23	»	0.42	840	930	0.30	0.26	0.30
24	»	0.31	350	370	0.45	0.35	—
25	»	0.23	550	565	0.28	0.25	—
31	»	0.93	230	630	0.52	0.33	0.35
32	»	0.97	300	1240	0.59	0.41	0.43
36	3849	0.58	650	800	0.41	0.29	0.33
37a	»	0.21	1600	1640	0.40	0.38	0.38
37b	»	0.21	1900	1940	0.16	0.16	0.16
37c	»	0.25	1600	1650	0.28	0.26	0.26
37d	»	0.27	700	730	0.49	0.45	0.45
36	3853	0.37	500	540	0.56	0.56	—
37a	»	0.30	800	840	0.55	0.55	—
37b	»	0.34	1200	1280	0.51	0.51	—
37c	»	0.44	1100	1230	0.51	0.42	—
37d	»	0.47	2500	2840	0.55	0.55	—
36	3859	0.22	450	460	0.44	0.27	0.27
37a	»	0.46	600	680	0.33	0.26	0.26
37b	»	0.52	1100	1290	0.08	0.08	0.08
37c	»	0.62	2500	3190	0.24	0.19	0.19
37d	»	0.66	1500	2000	0.19	0.19	0.20
37a	3862	0.90	200	460	0.51	0.48	0.56
37b	»	0.94	1400	4100	0.21	0.21	0.24
37c	»	0.97	180	740	0.52	0.42	0.51
37d	»	0.98	1400	7000	0.51	0.51	0.61
40	3872	0.86	800	1570	0.39	0.39	0.40
41	»	0.67	750	1010	0.29	0.29	0.29
42	»	0.86	250	490	0.48	0.46	0.49
43	»	0.83	800	1440	0.36	0.36	0.39
40	3881	0.38	500	540	0.62	0.53	—
41	»	0.28	850	885	0.39	0.36	–
43	»	0.41	1500	1650	0.32	0.30	0.32
48	3887	0.61	900	1140	0.15	0.13	—
49	»	0.78	5000	8000	0.02	0.02	0.02
49c	»	0.76	800	1230	0.38	0.30	0.31
49d	»	0.80	300	500	0.31	0.14	0.15
49e	»	0.84	400	740	0.38	0.28	0.29
53	»	0.87	550	1120	0.40	0.25	0.27
54	»	0.81	1100	1880	0.05	0.04	0.04
55	»	0.49	500	570	0.35	0.28	–

Tabelle 19

München, Penumbra, Filter leer

Fleck	Platte	r/R	s. Fläche	J_P	$J_{P'}$
40	3870	0.86	800	0.69	0.79
41	»	0.67	750	0.56	0.56
42	»	0.86	250	0.84	1.00
43	»	0.83	800	0.73	0.88
47	3883	0.46	700	0.82	—
48	»	0.35	1200	0.83	0.83
49	»	0.46	5500	0.78	0.78
49b	»	0.19	900	0.86	0.87
49c	»	0.23	600	0.72	0.73
49d	»	0.24	180	0.85	0.86
49e	»	0.32	650	0.87	0.87
48	3888	0.61	900	0.80	0.81
49	3888	0.78	5000	0.73	0.76
49c	»	0.76	800	0.70	0.72
49e	»	0.84	400	0.84	0.85
53	»	0.87	550	0.78	0.82
54	»	0.81	1100	0.76	0.77
55	»	0.49	500	0.75	–

Tabelle 20

München, Penumbra, Filter blau

Fleck	Platte	r/R	s. Fläche	J_P	$J_{P'}$
37a	3860	0.46	600	0.80	0.80
37b	»	0.52	1100	0.73	0.73
37c	»	0.62	2500	0.68	0.69
37d	»	0.66	1500	0.73	0.74
37a	3861	0.63	300	0.65	—
37b	»	0.69	1100	0.70	—
37c	»	0.77	1500	0.66	—
37d	»	0.80	1400	0.66	—
40	3873	0.86	800	0.72	0.74
41	»	0.67	750	0.78	0.78
42	»	0.86	250	0.66	0.70
43	»	0.83	800	0.72	0.77
47	3884	0.46	700	0.82	—

Tabelle 21

München, Penumbra, Filter UV

Fleck	Platte	r/R	s. Fläche	w. Fläche	J_P	$J_{P'}$
22	3842	0.46	1350	1520	0.62	0.67
23	»	0.42	840	930	0.50	0.54
24	»	0.31	350	370	0.70	—
25	»	0.23	550	565	0.66	—
31	»	0.93	230	630	0.63	0.66
32	»	0.97	300	1240	0.72	0.77
36	3849	0.58	650	800	0.75	0.85
37a	»	0.21	1600	1640	0.77	0.78
37b	»	0.21	1900	1940	0.76	0.77
37c	»	0.25	1600	1650	0.55	0.55
37d	»	0.27	700	730	0.58	0.58
36	3853	0.37	500	540	0.87	—
37a	»	0.30	800	840	0.84	—
37b	»	0.34	1200	1280	0.82	—
37c	»	0.44	1100	1230	0.84	—
37d	»	0.47	2500	2840	0.85	—
37a	3859	0.46	600	680	0.77	0.77
37b	»	0.52	1100	1290	0.80	0.81
37c	»	0.62	2500	3190	0.72	0.72
37d	»	0.66	1500	2000	0.74	0.75
37a	3862	0.90	200	460	0.75	0.87
37b	»	0.94	1400	4100	0.68	0.79
37c	»	0.97	180	740	0.62	0.75
37d	»	0.98	1400	7000	0.76	0.92
40	3872	0.86	800	1570	0.71	0.73
41	»	0.67	750	1010	0.80	0.80
42	»	0.86	250	490	0.70	0.75
43	»	0.83	800	1440	0.75	0.80
40	3881	0.38	500	540	0.83	—
41	»	0.28	850	885	0.75	—
43	»	0.41	1500	1650	0.68	0.74
48	3887	0.61	900	1140	0.71	—
49	»	0.78	5000	8000	0.61	0.62
49c	»	0.76	800	1230	0.63	0.64
49e	»	0.84	400	740	0.75	0.76
53	»	0.87	550	1120	0.70	0.74
54	»	0.81	1100	1880	0.64	0.64
55	»	0.49	500	570	0.77	—

Die einzelnen Spalten geben an:

1. Die Bezeichnung des Flecks. Bei benachbarten oder zusammenhängenden Flecken wurden vielfach Buchstaben an die Bezeichnung des Hauptflecks angefügt. War ein Fleck mehrere Tage hintereinander zu beobachten, so behielt er seine Bezeichnung bei.
2. Die Plattennummer nach Tab. 1.
3. Den in Einheiten des scheinbaren Sonnenradius ausgedrückten Mittelpunktsabstand r/R.
4. Die scheinbare Fläche des Flecks mit Penumbra in Quadratbogensekunden, die aus den gemessenen größten und kleinsten Durchmessern als Ellipsenfläche berechnet ist (s. Fläche).
5. Die beobachtete Umbra- oder Penumbraintensität, bezogen auf die Intensität der unmittelbaren Fleckumgebung (J_{Beob} bzw. J_P).
6. Die wegen Einstrahlung verbesserte Umbraintensität, bezogen auf die Intensität der unmittelbaren Fleckumgebung (J_U).

Außerdem enthalten die Tabn. 18 und 21 die wahre Fleckfläche (w. Fläche), die aus der scheinbaren durch Multiplikation mit sec (arc sin r/R) erhalten wurde. Endlich ist in den Tabn. 16 bis 21 auch das Verhältnis der korrigierten Umbraintensität bzw. der Penumbraintensität zur ungestörten, fackelfreien Photosphärenintensität angeführt; die Bestimmung der letzteren ist in Abschnitt **2** bereits erörtert worden ($J_{U'}$ bzw. $J_{P'}$).

b) Zur Prüfung der Mitte-Rand-Variation sind in den Abbn. 8 bis 22 für die kleinen und großen Flecken sowie die Penumbren die Intensitäten, beobachtet sowie wegen Einstrahlung korrigiert, gegen r/R zusammengestellt, getrennt nach Spektralbereichen. Die Herrschinger und Münchener Werte sind dabei vereinigt, da die kleinere Zahl der letzteren ihre eigene Diskussion für den Randeffekt nicht rechtfertigt.

Jede Kurve wurde durch drei Normalpunkte festgelegt, die durch Zusammenfassung von Gruppen mit möglichst gleich vielen Beobachtungszahlen gebildet wurden. Die folgende Tab. 22 gibt eine Zusammenstellung der Normalpunkte mit den Beobachtungszahlen N.

Mitte-Rand-Effekt kleiner Umbren

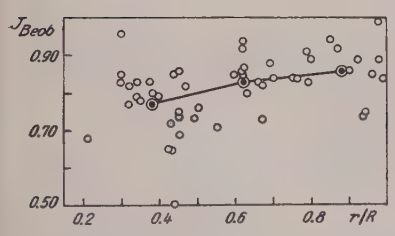

Abb. 8
Filter leer. Beob. Intensitäten

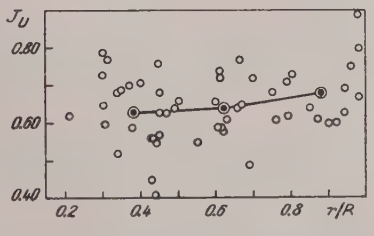

Abb. 9
Filter leer. Korrig. Intensitäten

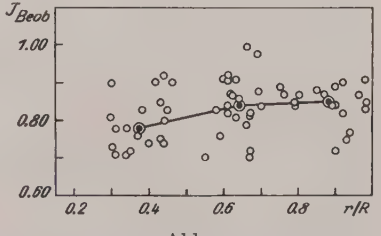

Abb. 10
Filter blau. Beob. Intensitäten

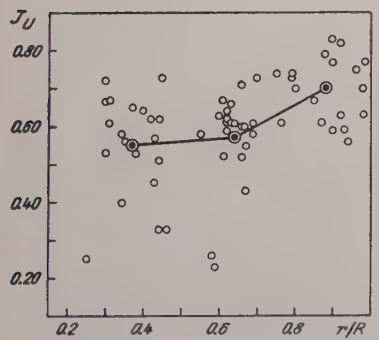

Abb. 11
Filter blau. Korrig. Intensitäten

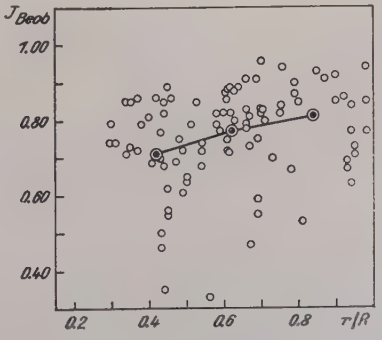

Abb. 12
Filter UV Beob. Intensitäten

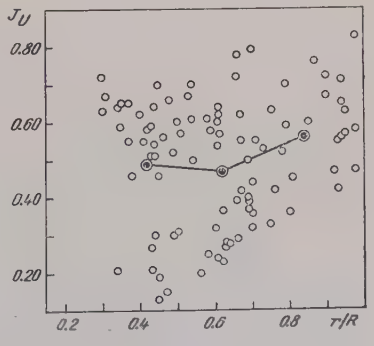

Abb. 13
Filter UV Korrig. Intensitäten

Mitte-Rand-Effekt großer Umbren

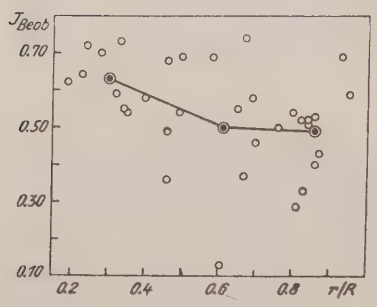

Abb. 14
Filter leer. Beob. Intensitäten

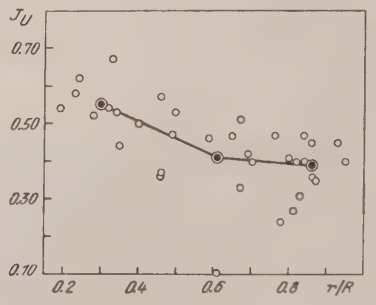

Abb. 15
Filter leer. Korrig. Intensitäten

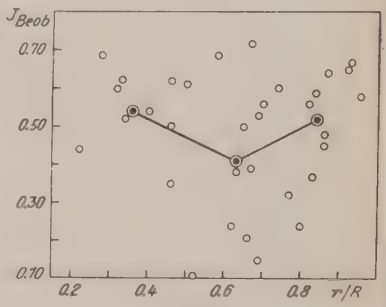

Abb. 16
Filter blau. Beob. Intensitäten

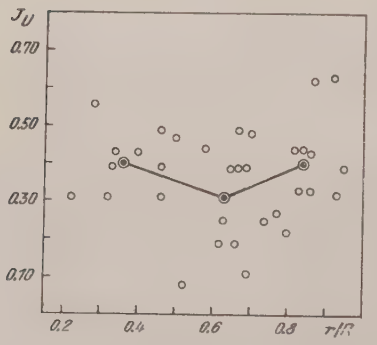

Abb. 17
Filter blau. Korrig. Intensitäten

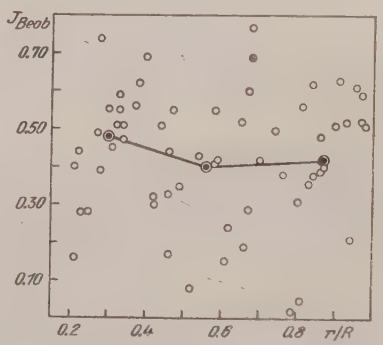

Abb. 18
Filter UV Beob. Intensitäten

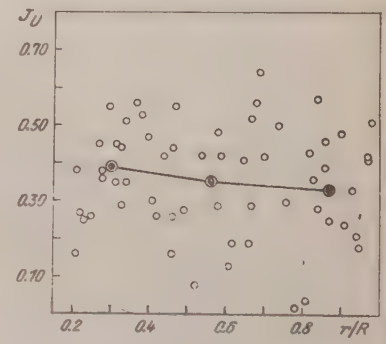

Abb. 19
Filter UV Korrig. Intensitäten

Mitte-Rand-Effekt der Penumbren

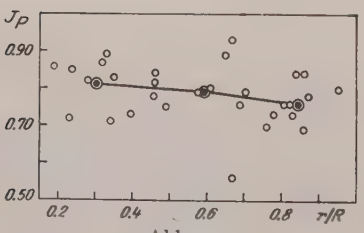

Abb. 20
Filter leer

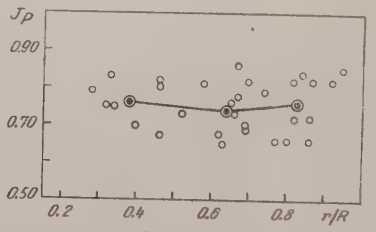

Abb 21
Filter blau

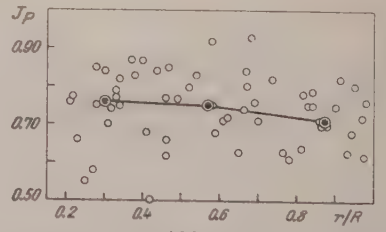

Abb. 22
Filter UV

Tabelle 22. Normalpunkte für die Mitte-Rand-Variation

Intensität	Filter	Normalpunkt 1				Normalpunkt 2				Normalpunkt 3			
		r/R	J_{Beob}	J_U	N	r/R	J_{Beob}	J_U	N	r/R	J_{Beob}	J_U	N
Kleine Umbra	leer	0.38	0.77	0.63	23	0.62	0.83	0.64	14	0.88	0.86	0.68	15
	blau	0.37	0.78	0.55	20	0.64	0.84	0.57	22	0.88	0.85	0.70	19
	UV	0.42	0.71	0.49	32	0.62	0.77	0.47	32	0.84	0.81	0.56	29
Große Umbra	leer	0.30	0.63	0.55	9	0.61	0.50	0.41	14	0.86	0.49	0.39	11
	blau	0.36	0.54	0.40	9	0.63	0.41	0.31	11	0.84	0.52	0.40	13
	UV	0.30	0.48	0.39	18	0.56	0.40	0.35	22	0.87	0.42	0.33	20
Penumbra	leer	0.30	0.81	—	9	0.59	0.79	—	11	0.84	0.76	—	11
	blau	0.38	0.76	—	8	0.64	0.74	—	10	0.83	0.76	—	12
	UV	0.30	0.76	—	17	0.57	0.75	—	21	0.87	0.72	—	19

Vor der Diskussion dieser Kurven erörtern wir im Anschluß an den vorigen Abschnitt die Streuung der Intensitäten, die zur Beurteilung der Tragweite der aus einem Beobachtungsmaterial gezogenen Schlüsse dienen kann. Dazu sind in den Abbn. 23 bis 25 die Anzahlen von Intensitäten aufgetragen, die in bestimmten Intensitätsintervallen beobachtet wurden. Dabei sind selbstverständlich korrigierte Intensitäten verwendet. Da bei den verwendeten Reihen die Streuung der korrigierten Werte die der

beobachteten nicht wesentlich übersteigt, darf die Einstrahlungskorrektion als zuverlässig angesehen werden. Als Penumbraintensitäten sind nur die sicheren Münchener Werte benutzt. Diese Verteilungen sind mit Beobachtungsfehlern und, wie die Abbn. 9, 19 und 22 zeigen, mit geringen Mitte-Rand-Variationen behaftet.

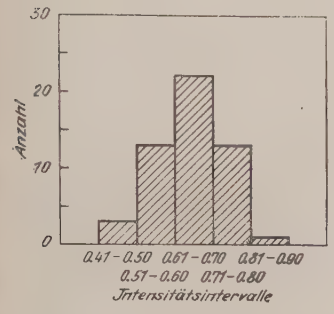

Abb. 23
Verteilung der korrig. Intensitäten kleiner Umbren. Filter leer

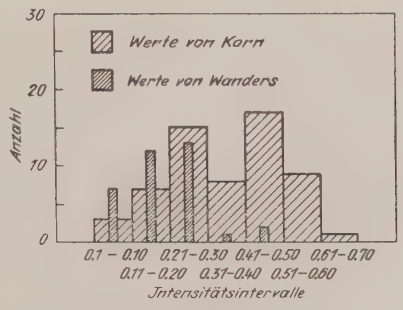

Abb. 24
Verteilung der korrig. Intensitäten großer Umbren. Filter UV

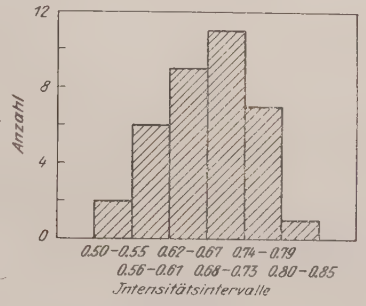

Abb. 25
Verteilung der Penumbraintensitäten. München. Filter UV

Man sieht, daß die Verteilungen der wahren Intensitäten tatsächlich, wie es in Abschnitt **4** zunächst angenommen wurde, näherungsweise durch Gaußsche Verteilungen dargestellt werden können. Die Tendenz der Kurven, nach höheren Intensitäten etwas steiler abzufallen, erklärt sich zwanglos durch ein Auswahlprinzip des Bearbeiters, der entweder die sich wenig von der Photosphäre abhebenden Flecke überhaupt nicht beachtet oder sie als zur Messung ungeeignet ausschließt. Ebenso wird eine sich von der Photosphäre wenig unterscheidende Penumbra dem Bearbeiter entgehen oder zweifelhafte erscheinen.

Aus Abb. 23 entnimmt man für kleine Umbren eine Gesamtstreuung von etwa ± 0.12, die sich nach Abschnitt **3** völlig durch Beobachtungsfehler erklären läßt, den wir ja für korrigierte Intensitäten zu ± 0.13 ansetzten. Der in der Verteilung enthaltene geringe Randeffekt von ± 0.03 spielt demgegenüber keine Rolle. Da die Zahl der Beobachtungen kleiner Umbren, die einen Normalpunkt der Mitte-Rand-Variation definieren, nach Tab. 22 zu 25 angesetzt werden kann, ist ein Randeffekt für korrigierte Werte nach Formel (18), Abschnitt **4** nur mit Sicherheit verbürgt, wenn er mindestens etwa ± 0.04 beträgt. Daraus folgt, daß die durch die Abbn. 8 bis 13 dargestellten Mitte-Rand-Variationen kleiner Umbren nur für die beobachteten Werte verbürgt sind, während aus den korrigierten Beobachtungen ein zwingender Schluß nicht gezogen werden kann.

Ein Vergleich der beobachteten Werte zeigt, daß der Randeffekt für die drei untersuchten Spektralbereiche praktisch völlig übereinstimmt, abgesehen von einer additiven Konstante, die wir noch behandeln.

Verfährt man ähnlich mit den Umbren größerer Flecke, so läßt sich aus Abb. 24 zunächst eine Gesamtstreuung von etwa ± 0.20 entnehmen. Für größere Flecke bleibt also noch eine »natürliche« Streuung übrig, die zu ± 0.15 zu veranschlagen ist. Mit der Beobachtungsanzahl 15 für einen Normalpunkt der Mitte-Rand-Variation ergibt sich eine Sicherheit des Randeffektes von etwa ± 0.06 für korrigierte Werte, so daß also die praktische Konstanz der Intensität mit Tendenz zur Verringerung gegen den Rand folgt. Wegen des ungleichmäßigen Verlaufs der Mitte-Rand-Variation ist das Verhalten in verschiedenen Spektralbereichen schwer zu vergleichen.

Die Penumbren zeigen nach Abb. 25 eine Gesamtstreuung von etwa ± 0.10, die fast völlig als natürliche Streuung gelten muß. Mit einer Zahl von 15 Beobachtungen für den Normalpunkt der Mitte-Rand-Variation ließe sich noch ein Randeffekt von etwa ± 0.04 verbürgen. Der Anstieg der Penumbraintensitäten gegen die Scheibenmitte nach Abb. 22 scheint also verbürgt, desgleichen wieder eine Übereinstimmung im Verhalten der in verschiedenen Spektralbereichen gemessenen Werte.

Über die Mitte-Rand-Variation führen also unsere Beobachtungen zu folgenden Schlüssen:

1. Umbra und Penumbra verhalten sich hinsichtlich der Mitte-Rand-Variation in verschiedenen Spektralbereichen praktisch gleichartig.
2. Kleine Flecke mit starker Einstrahlung zeigen einen Anstieg der Intensität gegen den Sonnenrand.
3. Die Berücksichtigung der Einstrahlung bei kleinen Flecken scheint zwar den beobachteten Rand-

effekt 2 teilweise zu verringern, wegen der Unsicherheit der Einstrahlungskorrektion kann ein zwingender Schluß auf das Verhalten der wahren Intensitäten aber nicht gezogen werden.

4. Größere Flecken zeigen keinen deutlichen Mitte-Rand-Effekt, auch wenn sie nicht wegen Einstrahlung korrigiert sind. Eher ist eine Tendenz zur Verringerung der Intensität gegen den Rand festzustellen.

5. Die Penumbra größerer Flecke, die als frei von Einstrahlung betrachtet werden kann, zeigt eine Tendenz, gegen den Sonnenrand an Intensität abzunehmen.

c) Die »natürliche Streuung« der Intensitäten wurde bereits für die einzelnen Gruppen oben abgeleitet. Gegenüber der geringen Streuung der kleinen Flecke ist es vielleicht angebracht, an ein gewisses Auswahlprinzip zu denken. Man könnte die Verteilung der kleinen und größeren Flecke vereinigen, doch erscheint dies bei der verschiedenen Berücksichtigung der Einstrahlung, die systematische Fehler in die Intensitäten tragen kann, bedenklich. Aus der Abb. 24, in die auch die Werte von Wanders eingetragen sind, geht jedenfalls auch bei Berücksichtigung der Beobachtungsfehler hervor, daß fast alle denkbaren Intensitäten vorkommen.

Wesentlich scheint die größere »natürliche Streuung« der Umbraintensitäten (± 0.15) gegenüber den Penumbraintensitäten (± 0.10). Man wird dies verknüpfen dürfen mit der Beobachtung, daß die Penumbra oft das stabilere Gebilde darstellt, während die Umbra schnellen und vielartigen Änderungen unterworfen ist.

d) Zur Prüfung der Abhängigkeit der Intensitäten von der wahren Fleckgröße benutzen wir die Werte der Tabn. 18 und 21. Aus den Abbn. 26 und besonders 27 geht tatsächlich hervor, daß die Intensitäten von Penumbra und Umbra bei größeren Flecken durchschnittlich kleiner werden. Diese Effekte reichen aber nicht aus, die gesamte Streuung der Intensitäten zu erklären. In dem geringeren Effekt der Penumbra darf ein weiterer Beweis für die schon aus der allgemeinen Streuung geschlossene größere Stabilität der Penumbra gesehen werden. Im übrigen stellen diese Ergebnisse eine Bestätigung der Untersuchungen von Wanders[1]) und Richardson[2]) dar. Bemerkenswerterweise bewegt sich der systematische Unterschied der mittleren Intensitäten größerer und kleinerer Umbren in gleichem Sinne.

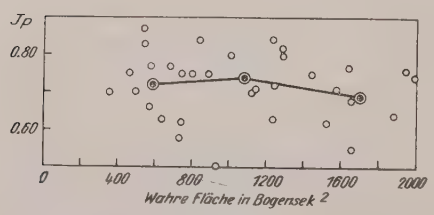

Abb. 26
Abhängigkeit der Penumbraintensität (München, Filter UV) von der wahren Fleckfläche

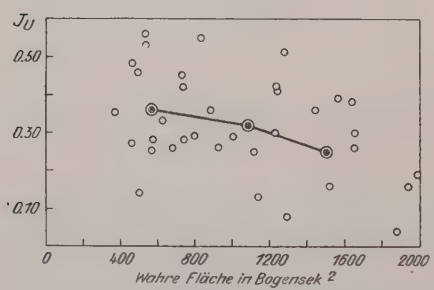

Abb. 27
Abhängigkeit der korrig. Umbraintensität (München, große Umbren, Filter UV) von der wahren Fleckfläche

Zusammenfassend kann festgestellt werden:

1. Die Intensitäten der Umbra und der Penumbra sind keineswegs Konstante; sie streuen vielmehr, unabhängig von den Beobachtungsfehlern, beträchtlich. Diese Streuung ist nur zum Teil durch eine Abhängigkeit von der wahren Fleckgröße zu erklären, wobei beide Effekte bei der Penumbra kleiner sind.

2. Extremwerte für die Umbraintensität können zu 0.05 und 0.85 angegeben werden, entsprechend den nach dem Planckschen Gesetz unter Annahme einer Temperatur der normalen Sonnenoberfläche von $T_e = 5740°$ zu berechnenden effektiven Temperaturen $T_e \min = 3920°$ und $T_e \max = 5610°$. Entsprechende Werte für die Penumbra können zu 0.52 und 0.82, entsprechend $T_e \min = 5210°$ und $T_e \max = 5580°$ angegeben werden[3]).

e) Wie schon bemerkt, bestehen zwischen den Intensitäten, die in verschiedenen Spektralbereichen erhalten wurden, systematische Differenzen. Eine Zusammenstellung der verschiedenen

[1]) loc. cit. Fußnote 7, S. 106.
[2]) loc. cit. Fußnote 6, S. 106.
[3]) Die Temperaturen sind als »schwarze Temperaturen für $\lambda = 400$ mμ berechnet und stellen bei der Breite der Beobachtungsspektralbereiche natürlich nur Näherungen zur Veranschaulichung der Streuung der Fleckintensitäten dar.

Mittelwerte mit den jeweiligen Beobachtungsanzahlen n gibt die Tab. 23.

Stellt man, wie dies in Abb. 28 geschehen ist, die Resultate zusammen und vergleicht sie

Tabelle 23
Mittelwerte der Intensitäten für verschiedene Filter

	Filter	München			Herrsching		
		J_{Beob}	J_U	n	J_{Beob}	J_U	n
Kleine Umbra	leer	0.71	0.61	13	0.85	0.66	39
	blau	0.68	0.56	4	0.83	0.61	57
	UV	0.61	0.44	26	0.82	0.53	67
Große Umbra	leer	0.44	0.42	21	0.59	0.47	13
	blau	0.38	0.29	16	0.59	0.44	17
	UV	0.37	0.32	40	0.56	0.43	20
Penumbra	leer	0.77	—	18	0.81	—	13
	blau	0.72	—	13	0.79	—	17
	UV	0.72	—	38	0.79	—	20

mit den von Minnaert und Wanders[1]) wegen Einstrahlung korrigierten, zum Vergleich hier mit 2 multiplizierten Messungen von Abbot, Pettit und Nichelson, so muß die Übereinstimmung angesichts des kurzen Spektralbereichs und der Unsicherheit der λ_{eff} als befriedigend bezeichnet werden. Weitere Feststellungen gestattet das Material in dieser Hinsicht nicht.

f) Hinsichtlich der von Strebel angeregten Prüfung des Einflusses der Fackeln in der Fleckumgebung zeigen die Tab. 16 bis 21, daß dieser Einfluß für Umbra und Penumbra ziemlich belanglos ist. Selbstverständlich können in Einzelfällen die Intensitäten auf diese Weise stärker entstellt werden, bei einer statistischen Untersuchung ist der Effekt belanglos.

Angesichts der über bisherige Untersuchungen hinausgehenden Resultate über die Streuung der Fleckintensitäten liegt das Bedürfnis vor, die Richtigkeit der vorliegenden Photometrie zu prüfen. Dazu ist es zweckmäßig, die zur Ermittlung der Intensitätsverhältnisse benutzten Messungen der Fleckumgebung zur Prüfung der aus den Beobachtungen folgenden Randverdunkelung der Photosphäre zu verwenden. Dazu sind in Tab. 24 und Abb. 29 von fünf Platten, die mit UV-Filter aufgenommen wurden, die beobachteten, von der Restintensität natürlich befreiten Photosphärenintensitäten als Funktion des Mittelpunktabstandes r/R aufgetragen. Wo die unmittelbare Fleckumgebung durch Fackeln gestört war, wurden die Messungen der von diesem Einfluß befreiten Photosphärenintensität (Abschnitt 2) benutzt. Um einen unmittelbaren Vergleich zu ermöglichen, sind die Werte auf ein gemeinsames System reduziert worden.

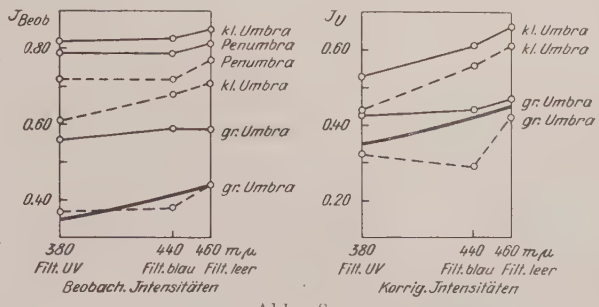

Abb. 28
Mittelwerte der Intensitäten für verschiedene Spektralbereiche, verglichen mit den Messungen von Abbot, Pettit und Nichelson nach Minnaert und Wanders.
Minn. u. Wand.: ——; Herrsching: ——; München: – – –

Tabelle 24
Die Randverdunkelung für UV aus den Photosphärenintensitäten für 5 Platten

3613		3645		3842		3853		3887	
r/R	J	r/R	J	r/R	J	r/R	J	r/R	J
0.38	86.0	0.30	94.0	0.23	94.9	0.30	90.0	0.43	85.0
0.43	86.0	0.30	94.0	0.31	97.4	0.34	90.0	0.43	85.0
0.46	86.0	0.31	94.0	0.42	90.0	0.37	85.9	0.44	86.7
0.94	56.4	0.33	93.0	0.46	88.5	0.44	87.6	0.45	86.7
0.98	43.6	0.34	94.0	0.56	78.1	0.47	87.6	0.45	91.8
0.98	38.0	0.34	94.0	0.69	75.5	0.73	72.8	0.45	91.8
		0.47	90.0	0.69	69.1	0.81	67.7	0.49	91.8
		0.66	72.5	0.78	61.2			0.49	83.2
		0.95	45.6	0.93	44.8			0.50	83.2
		0.98	39.6	0.93	42.0			0.61	81.5
				0.95	38.8			0.67	81.5
				0.95	38.8			0.76	72.8
				0.97	30.9			0.78	72.8
								0.80	72.8
								0.81	68.8
								0.84	66.9
								0.87	66.9
								0.94	54.4

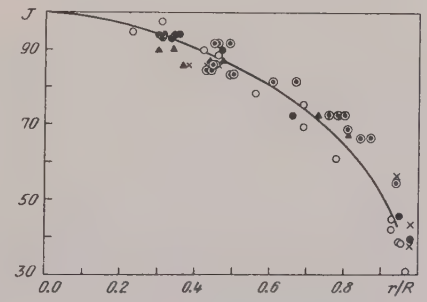

Abb. 29
Die Randverdunkelung für UV aus 5 Aufnahmen, verglichen mit den Messungen von Abbot

Die Auswahl der fünf Aufnahmen erfolgte so, daß jede einzelne ein beträchtliches Stück der Randverdunkelung wiedergibt.

[1]) loc. cit. Fußnote 1, S. 105.

Vergleicht man damit die Werte der Randverdunkelung für $\lambda_{eff} = 380\ m\mu$, wie sie aus den Arbeiten von C. G. Abbot[1]) folgen, und wie es in Abb. 29 geschehen ist, so kann die Übereinstimmung als gut bezeichnet werden. Gleichzeitig liegt hierin eine Bestätigung der m. F. der beobachteten Intensitäten.

6. Die Bedeutung der Ergebnisse für die Theorie

Knüpft man an die am Anfang formulierten, für die Theorie der Sonnenflecke entscheidenden Gesichtspunkte an, so kann nunmehr dazu bemerkt werden:

a) Die wahre Intensität besonders kleinerer Flecke ist wegen der Unsicherheit der Einstrahlungskorrektion noch weitgehend unbekannt. Bei der beträchtlichen Streuung der Intensitäten kann den Mittelwerten aus einem beschränkten Material und den daraus folgenden Temperaturen eine besondere physikalische Bedeutung nicht zugesprochen werden.

b) Der spektrale Gang der Fleckintensität ergab sich für einen engen Bereich in befriedigender Übereinstimmung mit den bisherigen Messungen, die im Sinne des Strahlungsgleichgewichts zu verstehen sind. Neu ist die Feststellung, daß für verschiedene Spektralbereiche kein Unterschied im Mitte-Rand-Effekt der Intensitäten von Umbra und Penumbra festzustellen ist. Minnaert und Wanders[2]) haben für die Spektralbereiche bei 4000 Å und 8000 Å das Verhalten des Intensitätsverhältnisses Fleck : Photosphäre für die adiabatische Theorie und für Strahlungsgleichgewicht berechnet. Während in ersterem Fall sich für beide Bereiche ein verschiedener Mitte-Rand-Effekt ergibt, ist dies bei Strahlungsgleichgewicht nicht der Fall. In den vorliegenden Beobachtungen wird die Hypothese des Strahlungsgleichgewichts also auch von dieser Seite bestätigt.

c) Erstmalig wurde in vorliegender Arbeit die wirkliche Streuung der Fleckintensitäten in Rechnung gestellt. Dadurch war es möglich, die Beobachtungen des Mitte-Rand-Effektes in ihrer Tragweite zu beurteilen. Es zeigte sich, daß die Umbraintensität mit stärkerer Streuung behaftet ist als die Intensität der Penumbra, worin, auch im Zusammenhang mit der geringeren Abhängigkeit der Penumbraintensität von der Fleckgröße, ein Hinweis auf eine relative Stabilität der Penumbra im Vergleich zur Umbra gesehen werden kann.

Die Streuung der Fleckintensitäten könnte im Zusammenhang mit den Untersuchungen von Siedentopf[3]) Bedeutung gewinnen, der versucht hat, ähnlich wie bei der Granulation, ausgehend von den Untersuchungen von Prandtl, den Fleckvorgang als Turbulenzerscheinung zu beschreiben. Doch sind Möglichkeiten, eindeutige Schlüsse zu ziehen, hier zunächst kaum vorhanden, da fast sämtliche in die Beziehung eingehenden Größen abgeschätzt werden müssen.

d) Der Mitte-Rand-Effekt wurde auch an der Penumbra untersucht. Diese zeigt sogar Anzeichen abnehmender Intensität gegen den Sonnenrand, wie dies auch Wanders[4]) an Flecken, allerdings in kaum verbürgbarer Größe, erhalten hatte. Das Verhalten der Penumbra entspricht ganz genau den von Minnaert und Wanders[5]) ausgeführten Rechnungen für Strahlungsgleichgewicht. Im übrigen zeigen die Messungen, soweit sie ein sicheres Urteil erlauben, praktische Konstanz der mittleren Fleckintensität über die Scheibe, ebenfalls in weitgehender Übereinstimmung mit den bei Strahlungsgleichgewicht zu erwartenden Verhältnissen.

Darf so, besonders nach den Ergebnissen des hier bearbeiteten großen Materials[6]), die Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Theorie des Strahlungsgleichgewichts in den Flecken als weitgehend gesichert bezeichnet werden, so steht doch das Problem der wahren Fleckintensität noch sehr offen, da die Verfälschung durch Einstrahlung noch nicht genügend genau ermittelt werden kann.

Für die Anregung zur vorliegenden Untersuchung bin ich Herrn Dr. Thüring zu Dank verpflichtet.

Meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Rabe, schulde ich besonderen Dank für das Interesse, das er dieser Arbeit entgegengebracht hat. Seinem Rat verdankt sie wesentliche Förderung.

[1]) Ann. Astrophys. Smithsonian Inst. **1** (1900); **2** (1908); **3** (1913) und **4** (1922).
[2]) loc. cit. Fußnote 1, S. 105.
[3]) loc. cit. Fußnote 5, S. 105.
[4]) loc. cit. Fußnote 7, S. 106.
[5]) loc. cit. Fußnote 1, S. 105.
[6]) Nach Abschluß vorliegender Arbeit erschien in den Publications of the Sternberg State Astronomcial Institute eine Arbeit von G. Sitnik »On the nature of sun-spots« in russischer Sprache, die offenbar weitgehend ähnliche Ergebnisse enthält.

Lebenslauf

Ich, Jakob Friedrich Wilhelm Korn, bin geboren am 19. Juli 1914 zu Zweibrücken in der Saarpfalz als Sohn des Kürschnermeisters Jakob Korn und seiner Ehefrau Berta, geb. Kennerknecht.

Nach vierjährigem Besuch der Volkshauptschule und neunjährigem Besuch der Oberrealschule meiner Vaterstadt bezog ich nach bestandener Reifeprüfung im Sommersemester 1934 die Universität München, an der ich bis zum Ende des Wintersemesters 1938-39 studierte.

Ich hörte vor allem astronomische, mathematische, physikalische und meteorologische Vorlesungen, daneben auch solche in Philosophie und Geologie. Im einzelnen besuchte ich Vorlesungen und Übungen der Herren Börner, Broili, Führer, Gerlach, Grunsky, Lettenmeyer, Maue, Perron, Rabe, Rüchardt, Schmauß, Schütte, Sommerfeld, Thüring und Tietze.

Im Herbst 1937 war ich zur kurzfristigen militärischen Ausbildung eingezogen.

Seit Oktober 1938 bin ich als Hilfsrechner auf der Sternwarte München tätig.

Für die Anregung zur vorliegenden Untersuchung bin ich Herrn Dr. Thüring zu Dank verpflichtet.

Meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Rabe, schulde ich besonderen Dank für das Interesse, das er dieser Arbeit entgegengebracht hat. Seinem Rat verdankt sie wesentliche Förderung.

Druckfehlerberichtigung und Ergänzung zu dem Artikel »Untersuchungen über die Intensität der Sonnenflecke« von J. Korn (Astron. Nachr. 270.105)

Die Korrekturen für den letzten Bogen der genannten Arbeit von J. Korn trafen, da der Verfasser sich im Feld befindet, so verspätet ein, daß sie beim Druck der Arbeit nicht mehr berücksichtigt werden konnten. Die Berichtigungen und Ergänzungen seien jedoch hier nachgeholt.

I. S. 121 und 122.
Bei den Überschriften zu den Abbildungen ersetze Mitte-Rand-Effekt durch Mitte-Rand-Variation.

II. S. 123.
Zweiter Absatz, Zeile 3, nach »etwas steiler abzufallen« füge die Fußnote ein: Diese Tendenz ist bei einer Vereinigung der Verteilungen großer und kleiner Umbren noch auffälliger.

III. S. 123.
Zweiter Absatz, letzte Zeile: statt zweifelhafte lies zweifelhaft.

IV. S. 123.
Dritter Absatz. Der erste Satz muß lauten: Aus Abb. 23 entnimmt man für kleine Umbren eine Gesamtstreuung von etwa ± 0.12, die sich nach Abschnitt **3** zur Hälfte durch Beobachtungsfehler erklären läßt, die wir ja für korrigierte Intensitäten zu ± 0.08 ansetzten.

V. S. 123.
Zeile 15 v. u.: statt ± 0.15 lies ± 0.18.

VI. S. 124.
Zeile 15 v. o.: statt (± 0.15) lies (± 0.18).

Druck von C. Schaidt, Inhaber Georg Oheim, Kiel